

Trabajo Final de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Viabilidad de la mejora en la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar situada en Torrelles de Llobregat

MEMORIA

Autor: Marc Pacheco Padilla
Director: Jose Luís Martín Godoy
Codirector: Xavier Fernández Francos
Convocatoria: Enero 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El presente documento desarrolla un estudio de viabilidad para la mejora de una vivienda unifamiliar ubicada en la localidad catalana de Torrelles de Llobregat. Dicho estudio pasa inicialmente por la descripción de los conceptos energéticos principales con los que se trabajará a posteriori. Seguidamente se realiza una definición completa de la vivienda detallando sus características técnicas generales; dimensiones, descripción de las instalaciones (correspondientes a la ventilación, electrificación, climatización y ACS) así como un estudio climático del entorno. Estos datos de la vivienda son introducidos en las herramientas de simulación energética de edificios HULC y OpenStudio, observando una calificación energética de emisiones de CO_2 anuales igual a una C (emisiones situadas entre los 14,6 y 22,7 kilogramos de CO_2 anuales por metro cuadrado). En cuanto a la verificación del HE1 (evaluación de la demanda) y HE0 (verificación del consumo energético primario no renovable) la vivienda cumple con el primero de ellos tanto para calefacción como para refrigeración pero sobrepasa el límite de consumo del HE1, siendo el sistema de ACS el más perjudicial seguido del de climatización en cuanto a calefacción.

Por ello se estudian 3 mejoras complementarias; un sistema solar térmico (estudiando 3 tipos diferentes de instalaciones solares térmicas para seleccionar el sistema adecuado) que supone una mejora del 25,97% respecto al consumo eléctrico no renovable, un pequeño dimensionamiento de la difusión de los sistemas de climatización en función de la demanda energética por espacios interiores para mejores resultados en las simulaciones del COP y EER experimental que nos proporciona el programa HULC (considerando que la vivienda está diseñada siguiendo este principio) y la instalación de un sistema fotovoltaico que reduce un finalmente en un 44,5% el consumo energético actual de la vivienda. Esto se traduce finalmente en una calificación de A, donde las emisiones se sitúan por debajo de los 9 kilogramos de dióxido de carbono anual por metro cuadrado, exactamente con un valor de 8,4, presentando unas emisiones totales de 1186,05 kg de CO_2 al año. Además mediante dichas instalaciones la vivienda cumple con el límite de consumo energético primario no renovable (HE0).

Mediante un estudio de viabilidad económica se determina que para la inversión total de 4626,61€ se obtiene un periodo de retorno de 11 años. Por ello quedarían aproximadamente 14 años restantes de vida útil únicamente de beneficio económico (suponiendo una vida útil de 25 años de los equipos). Este hecho acompañado de un VAN y TIR positivos determina que es una opción rentable a largo plazo.

Contenido

RESUMEN	3
CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
1. PREFACIO	14
2. INTRODUCCIÓN	15
2.1. Tema y problemática	15
2.2. Objetivos	15
2.3. Alcance	16
2.4. Requisitos de diseño.....	16
2.5. Planificación y programación de tareas	17
3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS	18
3.1. Concepto.....	18
3.2. Factores influyentes	19
3.2.1. Sistemas de climatización	21
3.2.2. Cargas térmicas	22
3.2.3. Transmitancia térmica	23
3.2.4. Puentes térmicos.....	24
3.2.5. Sistemas pasivos	25
3.3. Certificación energética	25
4. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	27
4.1. Características generales	27
4.2. Planos de la vivienda	28
4.3. Elementos constructivos	30
4.4. Instalaciones	30
4.4.1 Instalaciones de ventilación.....	31
4.4.2. Instalaciones de climatización	32
4.4.3. Sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS)	34
4.4.4. Instalaciones eléctricas	36
4.5. Entorno	37

4.6. Consumo energético	40
5. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA	42
5.1. Certificación energética con HULC	42
5.1.1. Introducción a la simulación con HULC.....	42
5.1.2. Entrada de datos y simulación	42
5.1.3. Resultados y observaciones.....	46
5.2. Certificación energética con OpenStudio	50
5.2.1. Introducción a la simulación con OpenStudio.....	50
5.2.2. Entrada de datos y simulación	51
5.2.3. Resultados y observaciones.....	53
5.3. Comparativa entre resultados de HULC y OpenStudio.....	55
6. ESTUDIO DE MEJORAS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	57
6.1. Sistema solar térmico para la generación de ACS.....	57
6.1.1. Instalación de consumo único con sistema prefabricado	60
6.1.2. Instalación de consumo único con interacumulador	62
6.1.3. Instalación de consumo único con intercambiador independiente.....	64
6.1.4. Selección del sistema de generación de ACS.....	65
6.1.5. Alternativa al sistema de apoyo.....	69
6.1.6. Simulación energética de la instalación térmica solar en HULC.....	70
6.2. Dimensionamiento de los equipos de climatización	72
6.3. Generación fotovoltaica.....	76
6.4. Conclusiones e impacto ambiental de las mejoras	86
7. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LAS MEJORAS IMPLANTADAS	88
8. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	90
9. PRESUPUESTO	91
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
11. BIBLIOGRAFÍA.....	94

Índice de figuras

Figura 2.1. Diagrama de Gantt para la programación de tareas (elaboración propia).....	17
Figura 3.1. Ventajas de la eficiencia energética (news.soliclima.com).	18
Figura 3.2. Diagrama psicrométrico (valcon).....	20
Figura 3.3 Funcionamiento de bomba de calor en invierno (caloryfrio.com).	22
Figura 3.4. Conducción de calor a través de materiales (elaboración propia).....	23
Figura 3.5. Pérdidas de calor a través de un puente térmico (ecohome.net).	24
Figura 3.6. Indicador de kg de CO2 anuales para la certificación energética (HULC).....	26
Figura 4.1. Mapa del catastro de la vivienda (www.sedecatastro.gob.es).....	27
Figura 4.2. Plano del sótano (memoria de calidades de la vivienda).....	28
Figura 4.3. Plano de la planta baja (memoria de calidades de la vivienda).....	28
Figura 4.4. Plano de la primera planta (memoria de calidades de la vivienda).....	29
Figura 4.5. Plano de la segunda planta (memoria de calidades de la vivienda).	29
Figura 4.6. Ejemplo de extractores eólicos en viviendas (www.chimenorte.com).	31
Figura 4.7. Rejilla de ventilación para el salón (vivienda de estudio).....	32
Figura 4.8. Reja de ventilación para las habitaciones (vivienda de estudio).....	32
Figura 4.9. Difusión de techo por rejillas (vivienda de estudio).....	34
Figura 4.10. Difusión de techo circular-cónica (vivienda de estudio).....	34
Figura 4.11. Acumulador ACS BAXI V510 (vivienda de estudio).	35
Figura 4.12. Esquema con cotas BAXI V510 (www.baxi.es).....	35
Figura 4.13. Cálculo estimado del coeficiente de pérdidas del acumulador (CE3X).	36
Figura 4.14. Mapa de irradiación solar de 2001 en Cataluña (icaen.gencat.cat).....	38
Figura 4.15. Consumo anual medio por hogares según zona climática (IDAE).	41

Figura 5.1. Diseño de la vivienda en HULC (elaboración propia).	45
Figura 5.2. Esquema de instalaciones (HULC).	46
Figura 5.3. Introducción de datos técnicos de la bomba de calor (HULC).....	46
Figura 5.4. Introducción de demanda de ACS (HULC).....	46
Figura 5.5. Verificación del HE1 actual de la vivienda (HULC).....	47
Figura 5.6. Verificación del HE0 actual de la vivienda (HULC).....	48
Figura 5.7. Certificación energética actual de la vivienda (HULC).....	48
Figura 5.8. Diseño de la vivienda para la simulación con OpenStudio (elaboración propia). 52	
Figura 5.9. Introducción de la demanda de ACS en SGSAVE (SGSAVE).	52
Figura 5.10. Introducción de las bombas de calor en SGSAVE (SGSAVE).	53
Figura 6.1. Dimensiones de la cubierta de la vivienda de estudio (elaboración propia).....	58
Figura 6.2. Modelo BAXI STS 150 (www.baxi.es).	66
Figura 6.3. Selección del equinoccio para cálculo de ángulos solares (3D SunPath).	67
Figura 6.4. Datos de ángulos solares (3D SunPath).	67
Figura 6.5. Descripción de los ángulos solares en la instalación solar térmica (elaboración propia).	68
Figura 6.6. Verificación del HE0 con las instalación solar térmica (HULC).....	70
Figura 6.7. Certificación energética de la vivienda con la instalación solar térmica (HULC). 71	
Figura 6.8. Descripción de ángulos en la instalación fotovoltaica (elaboración propia).	79
Figura 6.9. Verificación del HE0 con el sistema fotovoltaico (HULC).	84
Figura 6.10. Certificación energética final tras la implantación de mejoras (HULC).	85
Figura 8.1. Cálculo del consumo eléctrico del equipo utilizado para el estudio (www.hp.com).	90

Índice de tablas

Tabla 3.1. Condiciones interiores de diseño (RITE)	19
Tabla 3.2. Caudal mínimo exigido en edificios residenciales (CTE).	19
Tabla 4.1. Ficha técnica Daikin RYP71B7V1 (www.daikin.es).	33
Tabla 4.2. Ficha técnica Daikin RY35EAZV1 (www.daikin.es).	33
Tabla 4.3. Ficha técnica BAXI V510 (www.baxi.es).	35
Tabla 4.4. Dimensiones BAXI V510 (www.baxi.es).	36
Tabla 4.5. Temperatura ambiente media en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).	37
Tabla 4.6. Irradiación media diaria en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).	38
Tabla 4.7. Históricos climatológicos entre 1981 y 2010 en el aeropuerto del Prat (AEMET).	39
Tabla 5.1. Datos generales de la vivienda para introducir en HULC (elaboración propia)....	43
Tabla 5.2. Datos administrativos de la vivienda para introducir en HULC (elaboración propia).	43
Tabla 5.3. Transmitancias térmicas de los elementos constructivos de la vivienda (elaboración propia).	44
Tabla 5.4. Resultados de demandas, consumos y emisiones actuales de la vivienda (HULC).	49
Tabla 5.5. Consumo energético actual desglosado en kWh por metro cuadrado (PostCalener).	50
Tabla 5.6. Datos generales a introducir en SGSAVE (elaboración propia).	51
Tabla 5.7. Verificación del HE1 actual (OpenStudio).	53
Tabla 5.8. Verificación del HE0 actual (OpenStudio).	53
Tabla 5.9. Calificación energética por equipos (OpenStudio).	54
Tabla 5.10. Variación de resultados entre HULC y OpenStudio (elaboración propia).	55

Tabla 6.1. Datos climáticos y temperatura de red en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).	58
Tabla 6.2. Parámetros ACS para introducir en CHEQ4 (elaboración propia).	59
Tabla 6.3. Características técnicas BAXI STS 150 (www.baxi.es)	60
Tabla 6.4. Resultados anuales sistema ACS prefabricado (CHEQ4).	61
Tabla 6.5. Características técnicas Gamesa Solar 5000 ST (CHEQ4).	62
Tabla 6.6. Resultados instalación de consumo único con interacumulador (CHEQ4).	63
Tabla 6.7. Resultados instalación de consumo único con intercambiador independiente (CHEQ4).	64
Tabla 6.8. Resultados finales instalación solar térmica prefabricada (CHEQ4).	68
Tabla 6.9. Características técnicas calentador instantáneo Junkers ED6 (www.junkers.es).	69
Tabla 6.10. Consumos de energía final con la instalación solar térmica (HULC).	72
Tabla 6.11. Valores del COP y EER teóricos y experimentales de los equipos (HULC).	72
Tabla 6.12. Mejora del COP y EER experimental (elaboración propia).	74
Tabla 6.13. Características técnicas panel solar 330W 24 Telesun (autosolar.es).	78
Tabla 6.14. Características técnicas inversor MPPT 3000W 24V Must Solar (autosolar.es).	78
Tabla 6.15. Ángulos solares para cada mes del año (elaboración propia).	80
Tabla 6.16. Energía total captada por los paneles fotovoltaicos (elaboración propia).	81
Tabla 6.17. Horas pico solares para las placas fotovoltaicas (elaboración propia).	82
Tabla 6.18. Energía total captada por los paneles fotovoltaicos mediante las PSH (elaboración propia).	83
Tabla 7.1. Inversión total de las mejoras a implementar (elaboración propia).	88
Tabla 9.1. Desglose del presupuesto (elaboración propia).	92

Índice de gráficos

Gráfico 4.1. Consumo eléctrico de la vivienda en 2017 (elaboración propia).	40
Gráfico 5.1. Demanda energética mensual actual (PostCalener).....	49
Gráfico 5.2. Energía primaria no renovable y emisiones de CO2 actual (OpenStudio).	54
Gráfico 5.3. Consumos actuales de la vivienda por equipos (OpenStudio).	55
Gráfico 6.1. Resultados anuales sistema ACS prefabricado (CHEQ4).	61
Gráfico 6.2. Resultados instalación de consumo único con interacumulador (CHEQ4).	63
Gráfico 6.3. Resultados instalación de consumo único con intercambiador independiente (CHEQ4).	65
Gráfico 6.4. Comparativa entre sistemas térmicos solares (elaboración propia).	66
Gráfico 6.5. Demanda neta mensual para un espacio con valores críticos (ViSol).	73
Gráfico 6.6. Energía suministrada y consumo calorífico de la planta baja (elaboración propia)	75
Gráfico 6.7. Curva de energía suministrada y consumo calorífico en planta baja (elaboración propia).....	75
Gráfico 6.8. Reducción de emisiones de CO2 totales (elaboración propia).....	86

1. Prefacio

Durante los últimos 50 años el número de viviendas en España prácticamente ha duplicado su valor, traduciéndose en un mayor consumo eléctrico y, como consecuencia, en un aumento de las emisiones de CO₂ debido a que a fecha de hoy aproximadamente el 60% de la generación eléctrica a nivel nacional procede de fuentes de energía no renovables.

Es en este contexto donde el concepto de eficiencia energética cobra sentido, entendiéndose por ésta como un método que optimiza el consumo energético manteniendo su misma funcionalidad. Esta práctica, aplicable a todos los ámbitos, se ha extendido también al sector de viviendas residenciales, donde dicha optimización energética se consigue desde pequeñas acciones de ahorro por parte del usuario hasta la composición de los elementos constructivos o la introducción de sistemas de generación de energía renovable. El grado de eficiencia de una vivienda viene dado en su certificado energético.

A través de la transposición de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo en el Real Decreto 47/2007, fue aprobado en territorio español un procedimiento para la certificación energética en edificios de nueva obra, dejando a los ya existentes pendientes de regulación.

Posteriormente, la ley europea expuesta anteriormente fue modificada por la Directiva 2010/31/UE y con motivo de ello se refundió el Real Decreto 47/2007 en España, ampliando el ámbito de la certificación energética a los edificios ya existentes y dando lugar al Real Decreto 235/2013. En este último decreto se impone exigir la documentación pertinente a la certificación energética de la vivienda en los contratos de compraventa y alquiler.

Existen diferentes procedimientos admitidos para la certificación energética de edificios. A partir del 16 de enero de 2016 se admiten las últimas versiones de HULC, CE3, CE3X y CERMA y a partir del 5 de julio de 2018 pasan a ser reconocidos también CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y el complemento de CE3X para edificios de nueva obra.

Por lo tanto siempre que una vivienda entre en un procedimiento de compraventa o alquiler necesitará obligatoriamente de un certificado energético, así como también se necesitará de su modificación cuando en la vivienda se realicen reformas trascendentes que puedan modificar la calificación energética.

2. Introducción

2.1. Tema y problemática

El tema que abarca el presente trabajo es el de la optimización y mejora de la eficiencia energética en una vivienda, mejorando su calificación del certificado energético actual mediante la implementación de mejoras, tales como el uso de energías renovables (solar, biomasa, entre otras), equipos de microgeneración u otros, demostrando su viabilidad económica, energética y medioambiental. Dicho trabajo pretende pues, detectar y optimizar los puntos débiles (hablando en términos energéticos) de la vivienda para un mayor confort y ahorro de energía.

2.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la viabilidad para la mejora de la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar, manteniendo un ambiente confortable, sostenible y económicamente viable. Para ello se deberán realizar una serie de tareas esenciales para la obtención de unos resultados óptimos, los cuales se enumeran a continuación y en orden de ejecución:

- Estudio completo de la vivienda: estructura, consumos energéticos, planos, instalaciones presentes, etc.
- Estudio del entorno: determinar los datos climatológicos más relevantes de la zona.
- Establecimiento de los criterios de confort.
- Familiarizarse con los funcionamientos y metodologías de cálculo de los programas HULC y OpenStudio, obteniendo la certificación energética de la vivienda con cada uno de ellos.
- Realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos con cada uno de los programas de certificación energética.
- Exponer diferentes propuestas de mejora de la calificación energética obtenida (energías renovables, equipos de microgeneración u otros) demostrando su viabilidad técnica.
- Realizar un estudio de viabilidad económica de las diferentes propuestas, calculando el periodo de retorno, VAN y TIR asociados.

2.3. Alcance

El estudio de viabilidad de la mejora en la eficiencia energética posee una serie de límites impuestos en el presente apartado, incluyendo o descartando procedimientos con el objetivo de acotar el gran número de posibilidades con las que se puede llevar a cabo dicho estudio y que se listan a continuación:

- Los programas a utilizar para la simulación energética de la vivienda serán la Herramienta Unificada LIDER-CALENER y OpenStudio.
- No se realizará un cálculo exhaustivo de las cargas térmicas de la vivienda debido a que no son de una influencia relevante para el tipo de vivienda unifamiliar. Se limitará pues a aceptar los valores estándar que consideran los programas de simulación energética escogidos.
- Para la verificación de la mejora en la eficiencia energética de la vivienda de las diferentes opciones a implementar se utilizará únicamente la Herramienta Unificada LIDER-CALENER.
- Para mejoras relacionadas con energía solar térmica se utilizará el programa oficial CHEQ4, el cual permite un correcto dimensionado de las instalaciones y muestra si se cumplen todos los requisitos recogidos en la sección HE4 del CTE. En el caso de energía solar fotovoltaica se utilizarán cálculos teóricos para llegar a una solución óptima.
- Los estudios de viabilidad económica incluirán tanto los precios de los equipos como su instalación, acompañados del plazo de recuperación de la inversión (Payback) y el cálculo del VAN y TIR asociados.

2.4. Requisitos de diseño

Para la elaboración del estudio se tendrán en cuenta las necesidades del usuario de la vivienda, apostando por soluciones que reduzcan considerablemente el consumo energético de ésta manteniendo todos aquellos criterios de confort en cuanto a ventilación, temperatura interior y humedad, los cuales vienen especificados en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Los programas que se utilizarán a lo largo del presente documento están aprobados y reconocidos a nivel nacional para la certificación energética de viviendas con el fin de realizar el estudio con la máxima fidelidad posible a un caso ordinario profesional.

2.5. Planificación y programación de tareas

El estudio parte inicialmente por la descripción de los conceptos principales con los que se relacionarán los resultados seguido de una definición completa de la vivienda detallando sus características técnicas generales, que serán introducidas en las herramientas de simulación energética de edificios HULC y OpenStudio para extraer la certificación energética pertinente. Posteriormente se propondrán una serie de mejoras acompañadas de su viabilidad técnica y económica. Se acabará el trabajo mediante un presupuesto y un impacto ambiental asociado a él, finalizando con unas conclusiones extraídas sobre el conjunto del documento.

Con el fin de organizar las horas de trabajo se dispone de un diagrama de Gantt donde se establece una planificación preliminar para las tareas:

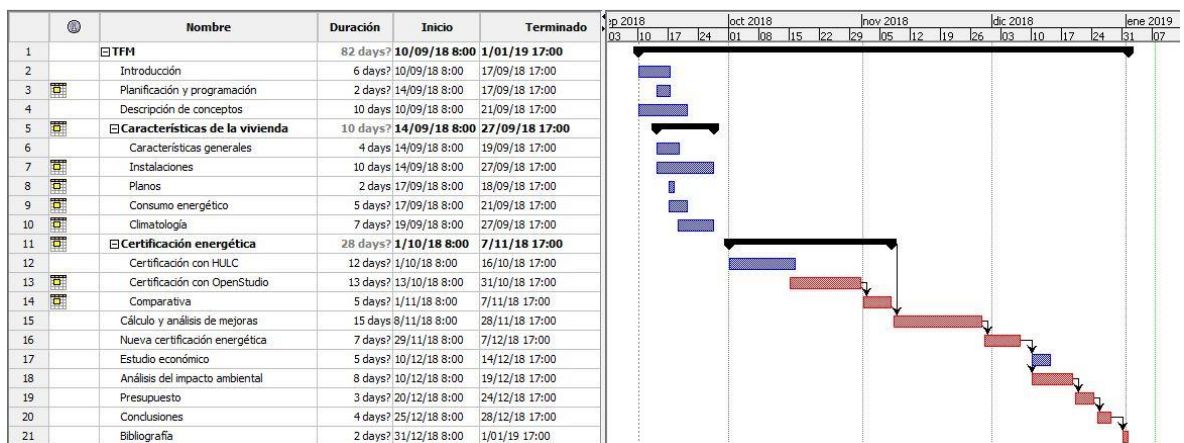


Figura 2.1. Diagrama de Gantt para la programación de tareas (elaboración propia).

3. Eficiencia energética en edificios

3.1. Concepto

Entendemos como eficiencia energética en edificios la optimización de energía de sus equipos, manteniendo su funcionalidad e incluso mejorándola. Pretende ser pues una herramienta que permite el uso eficiente de la energía, minimizando las pérdidas y ahorrando lo máximo posible en cuanto términos energéticos y, consecuentemente, económicos. Lo expuesto anteriormente se traduce no sólo en un consumo inferior de energía de la vivienda sino también en una reducción de las emisiones de CO₂, buscando ser más respetuoso con el medioambiente y potenciando el desarrollo sostenible.



Figura 3.1. Ventajas de la eficiencia energética (news.soliclima.com).

No existe un único método para implementar el concepto de eficiencia energética en un edificio, los diferentes caminos para llegar a optimizar el consumo de energía parten desde pequeños hábitos propios como el no malgastar la luz eléctrica innecesaria, pasando por la sustitución de cerramientos u otros elementos constructivos hasta la implementación de energías renovables para un abastecimiento autónomo respetuoso con el medio ambiente. Se trata pues de una práctica que implica conseguir los servicios energéticos deseados con un consumo inferior y sin renunciar a la calidad de vida.

3.2. Factores influyentes

Para la correcta climatización de la vivienda se requiere mantener dentro del espacio habitable unas condiciones de confort que vienen impuestas por la temperatura, la humedad y la calidad del aire. Los dos primeros parámetros de los expuestos vienen regulados en Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [1] mientras que los caudales mínimos para una óptima calidad del aire viene impuesta en el Código Técnico de la Edificación (CTE) [2].

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 3.1. Condiciones interiores de diseño (RITE)

Puede observarse como el confort óptimo se basa en tener unas condiciones interiores de entre 23°C y 25°C en verano y entre 21°C y 23°C en invierno respecto a las temperaturas y unas humedades relativas entre el 45% y 60% en verano y entre 40% y 50% en invierno.

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por persona	Por m² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios de viviendas	5		
	Salas de estar y comedores de viviendas	3		
	Aseos y cuartos de baño de viviendas			15 por local
	Cocinas de viviendas		2 ⁽¹⁾	50 por local ⁽²⁾
	Trasteros de viviendas y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos de viviendas		10	

⁽¹⁾ En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementará en 8 l/s.

⁽²⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Tabla 3.2. Caudal mínimo exigido en edificios residenciales (CTE).

Este apartado se centrará principalmente en los parámetros de temperatura y humedad, más complejos de analizar respecto a la calidad del aire, la cual únicamente viene definida por el número de renovaciones de aire que se realizan de los espacios interiores de la vivienda (dependiendo de diferentes factores tales como el número de ocupantes, los metros cuadrados u otros).

El aire húmedo que nos rodea está formado de aire seco y vapor de agua, donde la cantidad de éste último determina el porcentaje de humedad relativa presente. Cuando se incide en los parámetros de temperatura y humedad del aire de un recinto aparecen dos términos: el calor sensible y el calor latente. Hablamos de calor sensible cuando existe únicamente una variación en la temperatura sin verse afectada la humedad y de calor latente cuando sucede exactamente lo contrario; varía la humedad manteniendo constante la temperatura.

Todas las propiedades del aire húmedo en un punto concreto pueden analizarse rápidamente en un diagrama psicrométrico, donde se representan la temperatura seca y la humedad absoluta en el eje de abscisas y en eje de ordenadas respectivamente, donde se describen curvas de humedad relativa hasta llegar a la curva de saturación, donde viene representada la entalpía. Por ello si nos movemos entre dos puntos a lo largo de un diagrama psicrométrico obtendremos una variación de entalpía en el eje de abscisas debida al calor sensible y otra variación de entalpía en el eje de ordenadas debida al calor latente.

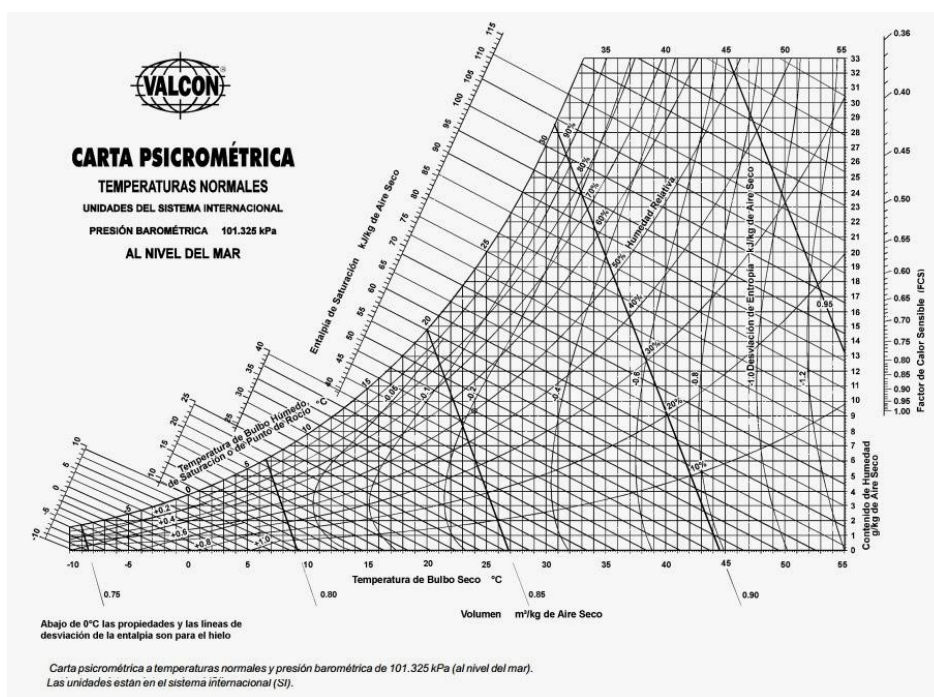


Figura 3.2. Diagrama psicrométrico (valcon).

Los principales encargados de modificar estas propiedades del aire húmedo son los equipos de climatización (tanto calefacción como refrigeración) de una vivienda, pero existen otros factores que reciben el nombre de cargas térmicas capaces de influir en dichos parámetros. Otros factores que se comentarán en este apartado son la transmitancia térmica y los puentes térmicos, ambos relacionados directamente con la capacidad de retener el confort

dentro de la vivienda. Por último se describirán muy brevemente otros factores capaces de influir (aunque en menor grado) sobre la carga sensible de las viviendas mediante su función pasiva como pueden ser los factores de sombra.

3.2.1. Sistemas de climatización

Las instalaciones presentes en las viviendas que son capaces de influir en un mayor grado sobre la temperatura y humedad relativa del interior son los sistemas de climatización, dividiéndose a su vez en equipos radiantes y equipos de difusión por aire.

- **Equipos radiantes:** en esta categoría se encuentran todos aquellos sistemas capaces de modificar únicamente la carga sensible del recinto sin incidir en la humedad relativa. Su objetivo principal es proporcionar calefacción a los cerramientos y ocupantes del interior del recinto y son ideales para relaciones de volumen/superficie elevadas o en aquellos lugares en los que los cerramientos presenten un mal aislamiento. Estos equipos pueden ser alimentados mediante calderas o bombas de calor que transfieran la energía necesaria al fluido térmico (generalmente agua), el cual se distribuye por las unidades terminales.
- **Equipos de difusión por aire:** en esta categoría se encuentran todos aquellos sistemas capaces de modificar tanto la carga sensible como la carga latente del recinto a climatizar con el objetivo de alcanzar las condiciones óptimas de confort. Cuando estos sistemas funcionan en régimen de calefacción sólo permiten incidir sobre la temperatura interior mientras que en régimen de refrigeración permiten modificar tanto la temperatura como la humedad relativa, dado que son capaces de extraer líquido presente en el aire húmedo, condensándolo a su paso por la unidad de tratamiento. Estos equipos suelen estar alimentados por bombas de calor que permiten proporcionar calefacción o refrigeración según las condiciones exteriores gracias a una válvula de 4 vías que invierte el funcionamiento del condensador y evaporador; en periodos estacionales fríos la válvula permitirá disponer el condensador en el interior de la vivienda y en periodos estacionales calurosos se invertirá dejando a éste en el exterior para extraer el calor.

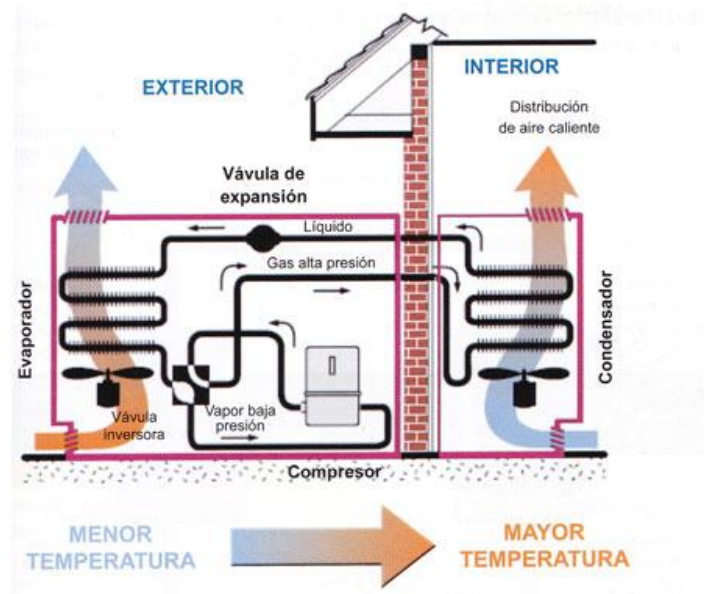


Figura 3.3. Funcionamiento de bomba de calor en invierno (caloryfrio.com).

3.2.2. Cargas térmicas

Como se ha comentado anteriormente las cargas térmicas son factores capaces de influir en la temperatura y humedad de un recinto, modificando de esta forma la carga sensible y latente. La unidad asociada a estos factores es el vatio (W) y interaccionará en pequeña medida con las potencias asociadas a los sistemas de climatización. Las cargas térmicas sensibles principales [3] que afectan a la temperatura de la vivienda son las siguientes:

- Radiación solar a través de vidrios (Q_{srv}).
- Radiación a través de paredes y cubiertas exteriores (Q_{sce}).
- Radiación a través de particiones interiores (Q_{spi}).
- Infiltraciones de aire (Q_{sia}).
- Aportación a través de los ocupantes (Q_{sao}).
- Aportación a través de la iluminación interior (Q_{sii}).
- Aportación a través de los aparatos eléctricos (Q_{sae}).

Las cargas térmicas latentes que afectan a la humedad de la vivienda son las siguientes:

- Infiltraciones de aire (Q_{lia}).
- Aportación de los ocupantes (Q_{lao}).

La carga sensible y latente total será el resultado de la suma de todas las cargas térmicas de cada una, sumándose posteriormente entre ellas para tener la carga térmica total asociada a la vivienda.

$$Q_s = Q_{srv} + Q_{sce} + Q_{spi} + Q_{sia} + Q_{sao} + Q_{sii} + Q_{sae} [W] \quad (3.1)$$

$$Q_l = Q_{lia} + Q_{lao} [W] \quad (3.2)$$

$$Q_{TOTAL} = Q_s + Q_l [W] \quad (3.3)$$

3.2.3. Transmitancia térmica

Si bien es cierto que alcanzar los parámetros de confort en la vivienda es de suma importancia también lo es el garantizar que los agentes externos influyan lo más mínimo en el interior de ésta, asegurando un buen aislamiento con el exterior. Aquí entra en juego el concepto de transmitancia térmica, un parámetro que indica la capacidad de un material para conducir la energía a través de él por unidad de tiempo y superficie; cuanto menor sea su valor menos energía transmitirá a través de él y por ende supondrá un mejor aislante. Normalmente los cerramientos de las viviendas están compuestos por un conjunto de materiales, donde la transmitancia total del cerramiento corresponderá a la suma de cada una de las transmitancias térmicas de los materiales que lo forman.

Para el cálculo de la transmitancia térmica en elementos constructivos se parte de la conductividad térmica (λ), es decir, su capacidad de conducir la energía y del espesor (b) de los materiales que lo componen. A partir de estos parámetros se puede obtener la resistencia térmica del elemento constructivo (R_t):

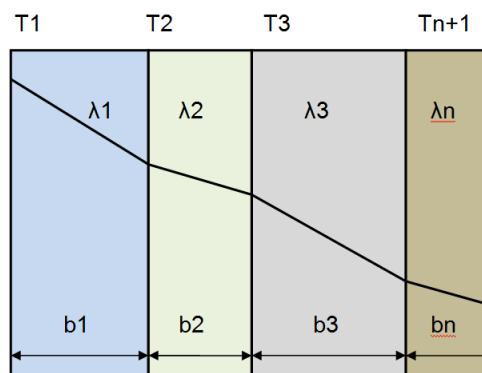


Figura 3.4. Conducción de calor a través de materiales (elaboración propia).

$$R_t = \frac{b}{\lambda} \quad (3.4)$$

$$R_{t(TOTAL)} = R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + R_{t(n+1)} \quad (3.5)$$

$$R_{t(TOTAL)} = \frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3} + \frac{b_{(n+1)}}{\lambda_{(n+1)}} \quad (3.6)$$

Finalmente a través de la resistencia térmica puede determinarse el valor de la transmitancia térmica (U):

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.7)$$

$$U_{TOTAL} = \frac{1}{R_{t(TOTAL)}} = \frac{1}{R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + R_{t(n+1)}} \quad (3.8)$$

Más adelante se podrá observar como los cerramientos en contacto con el exterior presentan una transmitancia térmica mucho menor que en las particiones interiores con la finalidad de garantizar el confort interior.

3.2.4. Puentes térmicos

Se entiende por puentes térmicos todas aquellas zonas puntuales donde rompe el elemento constructivo aislante, reduciendo su resistencia térmica y facilitando el paso energía a través de él y llegando a representar hasta un 20% de las pérdidas en una vivienda. Los puentes térmicos pueden estar presentes por diferentes motivos; desde cambios en la geometría de las superficies aislantes, pasando por la introducción de nuevos materiales con baja conductividad térmica hasta un simple tornillo que travesase el elemento constructivo.

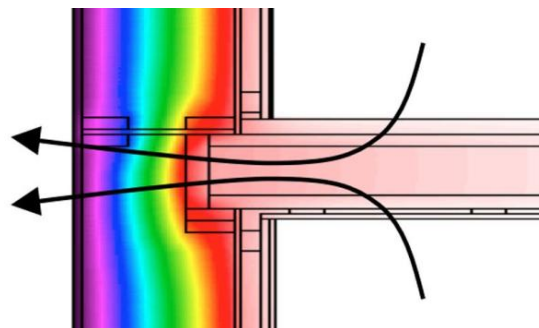


Figura 3.5. Pérdidas de calor a través de un puente térmico (ecohome.net).

Actualmente la directiva europea sobre eficiencia energética en edificios impone la utilización de soluciones constructivas que minimicen las pérdidas producidas por puentes térmicos apostando por la construcción de viviendas cada vez más eficientes.

3.2.5. Sistemas pasivos

Como se ha visto anteriormente en el apartado asociado a cargas térmicas un término influyente sobre la carga sensible de las viviendas es la asociada a la radiación solar; ésta entra a través de las ventanas modificando la temperatura interior y con ello la carga sensible.

Existen factores que reducen el efecto de dicha infiltración solar y ayudan a conseguir el grado de confort necesario como pueden ser la orientación de la vivienda (si ésta dispone de una fachada con ventanas orientada al sur captará más radiación solar que si su orientación es inversa) o los llamados sistemas pasivos. Estos últimos están formado por todos aquellos elementos que generan un factor de sombra, es decir, que se caracterizan por impedir que parte de la radiación solar entre en la vivienda como pueden ser persianas o toldos.

3.3. Certificación energética

Siguiendo lo indicado en el Real Decreto 235/2013, se impone exigir la documentación pertinente a la certificación energética en edificios de nueva construcción o siempre que una vivienda entre en un procedimiento de compraventa o alquiler, así como también cuando se realicen reformas trascendentes que puedan modificar el nivel de la calificación energética. Existen diferentes procedimientos para la certificación energética de edificios; las últimas versiones de HULC, CE3, CE3X y CERMA, así como también CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y el complemento de CE3X para edificios de nueva obra (estos tres últimos aprobados en julio de 2018).

Los programas descritos anteriormente extraen el certificado a partir de una simulación energética sobre la vivienda diseñada por el usuario, necesitando también de información relevante como la composición de los elementos constructivos para el cálculo de la transmitancia térmica y los equipos instalados con su información técnica correspondiente entre otros. El nivel de certificación energética determina cuan eficiente es una vivienda, es decir, que tan bien aprovecha la energía que se le proporciona y cuanto consumo supone

mantener el interior bajo los criterios de confort óptimos. Para ello calcula los datos de demandas, consumos y pérdidas energéticas para verificar el cumplimiento los límites de la demanda (correspondiente a la calefacción y refrigeración) del HE1 y la verificación del límite de consumo no renovable del HE0. Finalmente gracias a los coeficientes de emisiones y al consumo de energía primaria extrae una calificación energética entre A y G según las emisiones de CO_2 anuales por metro cuadrado, donde la calificación de A corresponde al sistema más eficiente.



Figura 3.6. Indicador de kg de CO_2 anuales para la certificación energética (HULC).

4. Definición y características de la vivienda

4.1. Características generales

La vivienda de estudio es de tipo unifamiliar adosada, construida en 2002 y situada en el municipio de Torrelles de Llobregat, en la Provincia de Barcelona. El inmueble de uso residencial dispone de una superficie total construida de 202 m² distribuidos a lo largo de 4 plantas (3 de ellas por encima de la rasante oficial de la vivienda destinadas a la estancia y una planta baja utilizada como garaje), participando en un 16,72% de la superficie catastral total de las viviendas adosadas. En el plano catastral proporcionado por la Sede Electrónica del Catastro se pueden observar las diferentes viviendas adosadas, siendo la 1D la correspondiente al presente estudio.

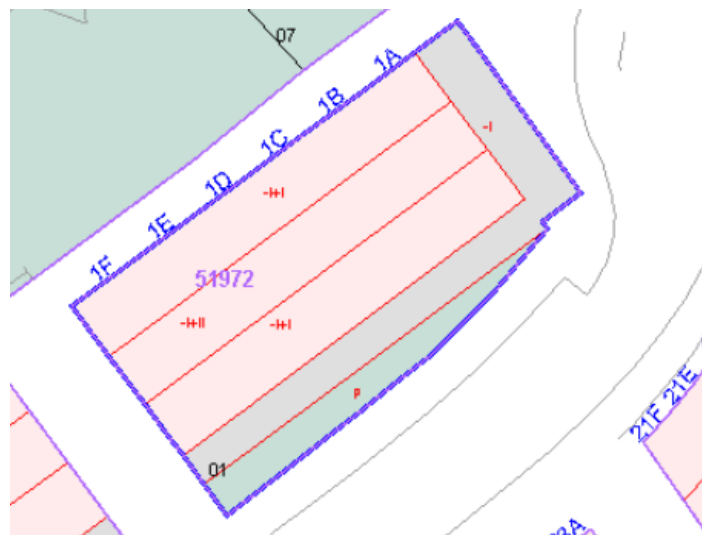


Figura 4.1. Mapa del catastro de la vivienda (www.sedecatastro.gob.es).

A diario la casa está ocupada por 3 residentes, todos ellos permaneciendo una media de 12 horas diarias, llegando a las 15 horas los fines de semana; un dato relevante a la hora de calcular las cargas térmicas de la vivienda, pues la calor desprendida por la actividad metabólica de los ocupantes aumenta la temperatura añadiendo carga sensible y el vapor de agua generado por los mismos también aumenta la humedad, contribuyendo en este caso a la carga latente.

4.2. Planos de la vivienda

Como se ha descrito en las características generales la vivienda dispone de 3 plantas situadas por encima de la rasante destinadas a la estancia y una planta baja utilizada como garaje. Los planos asociados a las plantas con las superficies correspondientes a cada espacio se muestran a continuación:

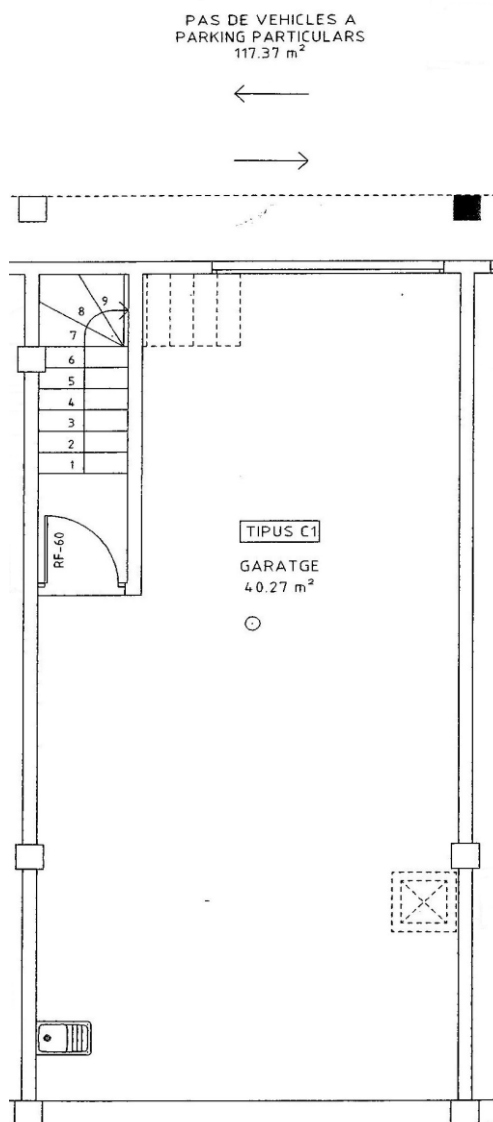


Figura 4.2. Plano del sótano (memoria de calidades de la vivienda).

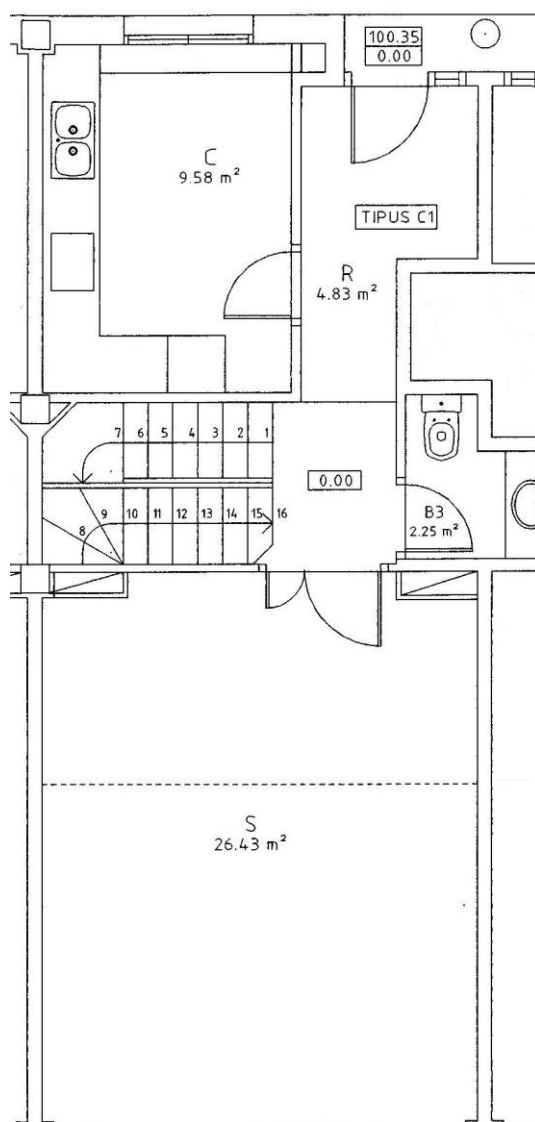


Figura 4.3. Plano de la planta baja (memoria de calidades de la vivienda).

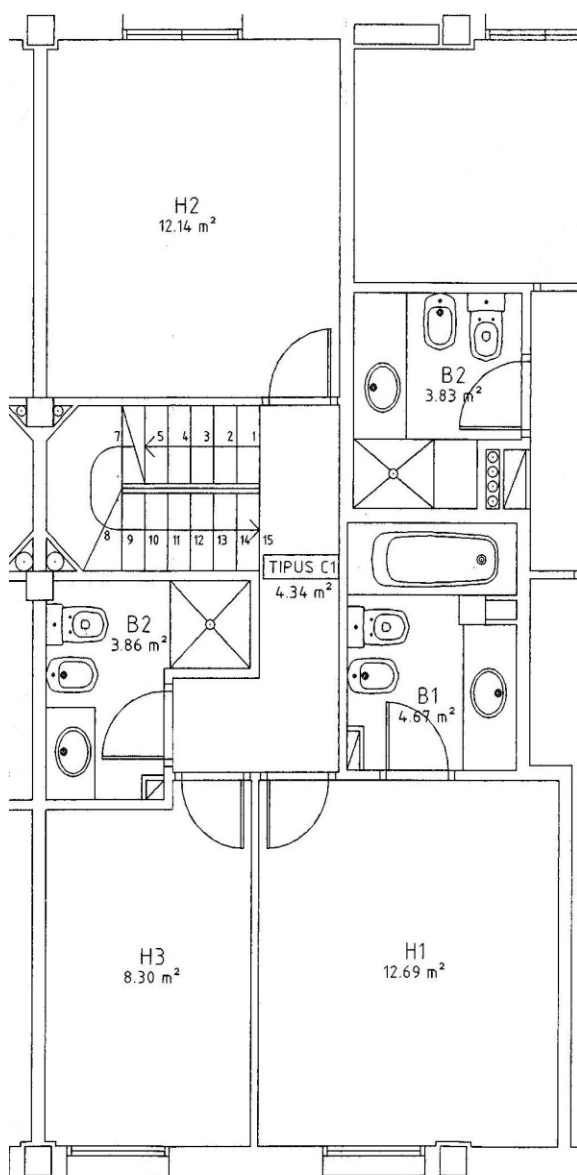


Figura 4.4. Plano de la primera planta (memoria de calidades de la vivienda).

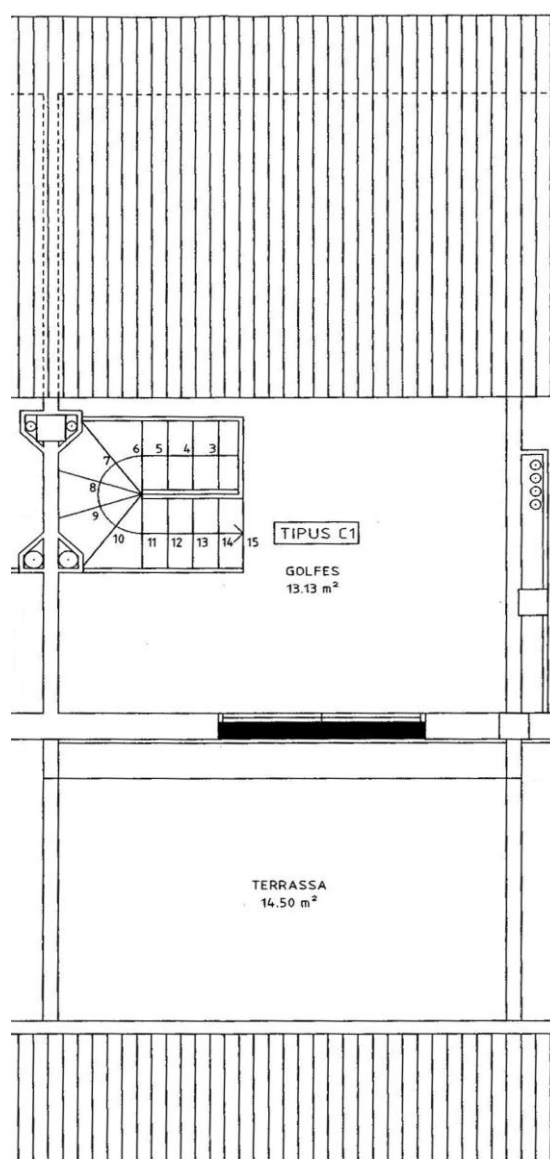


Figura 4.5. Plano de la segunda planta (memoria de calidades de la vivienda).

4.3. Elementos constructivos

En el presente apartado se pretende recoger de forma breve todos aquellos elementos constructivos que forman la vivienda, la cual parte de una estructura de pilares y forjado de hormigón armado y bovedillas de hormigón aligerado (sobrecarga de uso de 200 kg/m^2).

Por lo que respecta a los cerramientos principales se pueden destacar los siguientes:

- **Fachadas:** aplacados de piedra natural, granito nacional y estucado monocapa y cámara de aire con tabique de supermahón con un espesor de 4 cm.
- **Paredes divisorias entre viviendas:** Ladrillo perforado para revestir de 14 cm de espesor.
- **Particiones interiores:** Tabique de supermahón de 6 cm de espesor.

En cuanto a impermeabilizaciones e aislamientos se pueden destacar los listados a continuación (los cuales son de aplicación en los elementos constructivos mencionados):

- Membrana de lamina extruida de betún con elastómeros para impermeabilización de terrados con refuerzos de mimbeles y sumideros.
- Aislamiento térmico con proyección de espuma de poliuretano en cámaras de fachada y en azotea.

Por último y no menos importante se describe brevemente la composición de vidrieras de la vivienda:

- Aberturas: vidrio con cámara de aire de 4-8-4.
- Ventanas de vías de evacuación: Vidrio de 4+4 mm.
- Puertas vidrieras: vidrio al ácido de 4 mm.

4.4. Instalaciones

Con el objetivo de satisfacer la necesidades básicas de la vivienda, mejorar la calidad de vida y garantizar que los criterios de confort se mantengan dentro de los rangos establecidos por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y el Código Técnico de la Edificación (CTE) la vivienda está provista de las siguientes instalaciones:

- Instalaciones de ventilación
- Instalaciones de climatización

- Instalaciones eléctricas
- Sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

En los siguientes apartados se describen brevemente cada una de las instalaciones mencionadas, mostrando todas las características técnicas asociadas que se incluirán a la información aportada a los programas de simulación energética.

4.4.1 Instalaciones de ventilación

En lo referente a la calidad del aire, la vivienda dispone de los medios necesarios para mantener una ventilación acorde con el Código Técnico de la Edificación (CTE), en el apartado 3 del Documento Básico de Salubridad (CTE-HS3), asegurando la eliminación de los posibles contaminantes que puedan originarse durante la vida cotidiana en la vivienda. Según dicho documento los valores de renovaciones de aire están sujetos tanto al espacio a ventilar (dormitorios, aseos, cocina, etc) como al hecho de que éste sea habitable o no.

Para la evacuación de humos generados en la cocina la vivienda dispone de una campana extractora para la ventilación localizada con chimeneas individuales de PVC, mientras que para la ventilación de zonas interiores utiliza una chimenea cerámica. Estas canalizaciones están conectadas a unos extractores eólicos situados en la cubierta de la vivienda, forzando al aire a salir de ésta y manteniendo la calidad del aire en su interior.



Figura 4.6. Ejemplo de extractores eólicos en viviendas (www.chimenorte.com).

Las rejillas de ventilación varían en dimensiones según el espacio a ventilar, necesitando más superficie cuanto mayor sea volumen interior. Disponen de rejillas de ventilación forzada los espacios asociados al salón, cocina, aseos, dormitorio y golfas.



Figura 4.7. Rejilla de ventilación para el salón (vivienda de estudio).



Figura 4.8. Reja de ventilación para las habitaciones (vivienda de estudio).

4.4.2. Instalaciones de climatización

Para la climatización de la vivienda se disponen de un total de 3 bombas de calor independientes situadas en la terraza de la segunda planta, dos de ellas de mayor potencia encargadas de garantizar el confort en la planta baja y primera planta y otra de menor potencia encargada de la climatización de la segunda planta. Esta diferencia de potencias entre bombas de calor se debe al volumen de climatización asociado. Los datos técnicos de las diferentes bombas pueden visualizarse en las siguientes tablas:

Daikin RYP71B7V1	
Dimensiones (mm)	770x900x320
Peso (kg)	80
Capacidad de refrigeración (kW)	7,1
Capacidad sensible de refrigeración (kW)	4,8
Consumo nominal de refrigeración (kW)	2,65
Capacidad de calefacción (kW)	7,7
Consumo nominal de calefacción (kW)	2,62
EER	2,68
COP	2,94

Tabla 4.1. Ficha técnica Daikin RYP71B7V1 (www.daikin.es).

Daikin RY35EAZV1	
Dimensiones (mm)	660x880x350
Peso (kg)	50
Capacidad de refrigeración (kW)	3,6
Capacidad sensible de refrigeración (kW)	2,34
Consumo nominal de refrigeración (kW)	1,51
Capacidad de calefacción (kW)	4,1
Consumo nominal de calefacción (kW)	1,46
EER	2,38
COP	2,63

Tabla 4.2. Ficha técnica Daikin RY35EAZV1 (www.daikin.es).

Ambos modelos disponen de una válvula de 4 vías, la cual permite invertir el funcionamiento de la bomba de calor cambiando la función del condensador por la del evaporador y viceversa, proporcionando calor o frío a la vivienda según las preferencias de los residentes.

Para la climatización por medio de las bombas de calor descritas anteriormente se emplea la técnica de difusión por mezcla. A lo largo de la vivienda podemos encontrar diferentes elementos de difusión como rejillas puntuales o circulares-cónicas en número variable según el volumen a climatizar.



Figura 4.9. Difusión de techo por rejillas (vivienda de estudio).



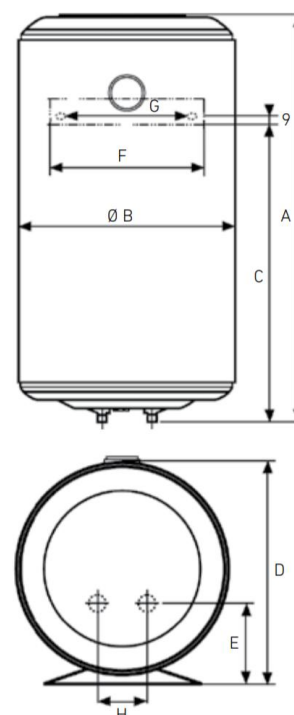
Figura 4.10. Difusión de techo circular-cónica (vivienda de estudio).

4.4.3. Sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para proporcionar agua caliente sanitaria a lo largo de la vivienda se dispone de un acumulador tipo termo eléctrico correctamente dimensionado a las necesidades, teniendo en cuenta el tiempo de calentamiento por parte de las resistencias eléctricas y el consumo punta de la vivienda. El acumulador está térmicamente bien aislado para reducir las pérdidas de calor durante el tiempo en el que no se necesita consumo de ACS, reduciendo al mismo tiempo la energía eléctrica necesaria. Las características técnicas de dicho acumulador eléctrico pueden visualizarse en la siguiente tabla:

Termo eléctrico BAXI V510

Capacidad (litros)	100
Potencia (kW)	1,5
Peso neto (kg)	25
Aislamiento	Poliuretano al agua sin CFC ni HCFC
Revestimiento exterior	Acero esmaltado
Modo de calentamiento	Resistencias eléctricas internas
Grado de protección eléctrica	IP24

Tabla 4.3. Ficha técnica BAXI V510 (www.baxi.es).*Figura 4.11. Acumulador ACS BAXI V510 (vivienda de estudio).**Figura 4.12. Esquema con cotas BAXI V510 (www.baxi.es).*

Las dimensiones representadas en el esquema de la figura anterior corresponden a las reflejadas en la siguiente tabla:

Dimensión	A	B	C	D	E	F	G	H
Valor (mm)	1018	433	785	451	165	100/320	240/272	100

Tabla 4.4. Dimensiones BAXI V510 (www.baxi.es).

El valor del coeficiente de pérdidas (UA) puede ser estimado mediante la herramienta CE3x a partir de la introducción de características generales del acumulador, dando un resultado de 2 W/K.

☒ Con Acumulación

Valor	Estimado ▼	UA	2.0	W/K
Volumen de un depósito	100 l	Multiplicador	1	Tª alta 80 °C
Tipo de aislamiento	Poliuretano Rígido ▼	Espesor	0.02 m	Tª baja 60 °C

Figura 4.13. Cálculo estimado del coeficiente de pérdidas del acumulador (CE3X).

4.4.4. Instalaciones eléctricas

La vivienda dispone de una instalación eléctrica en C.A. trifásico para una electrificación alta. La distribución eléctrica por el interior se divide en 6 circuitos situados en la planta baja y primera y 7 circuitos en la segunda planta, diferenciados entre ellos y provistos de las reglamentaciones impuestas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en España (R.E.B.T) vigente, asegurando el funcionamiento de las mismas y preservando la seguridad de los habitantes en su interior.

4.5. Entorno

Uno de los puntos fundamentales del estudio de la vivienda es el análisis de la climatología, siendo clave tanto en los parámetros de construcción como a la hora de implantar mejoras con la finalidad de mejorar la eficiencia energética.

La vivienda de estudio se halla en la localidad de Torrelles de Llobregat, en la provincia de Barcelona. Las coordenadas asociadas en grados decimales (DD) son 41.363008, 1.984186, manteniendo una orientación noroeste en una de sus fachadas y sureste en la otra (los dos laterales restantes están adosados a las viviendas situadas a ambos lados por lo que no están en contacto con el exterior).

En esta zona el clima es ligeramente frío, registrando una temperatura media anual de 13,3°C. A continuación se muestra una tabla donde se reflejan los datos correspondientes a las temperaturas medias mensuales a lo largo del año extraídas de la base de datos por municipios de la herramienta oficial CHEQ4 para el cálculo de instalaciones solares térmicas y la validación de los requisitos del HE4 del CTE:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T. ambiente (°C)	7,4	8,1	9,7	11,4	14,6	18,3	21,5	21,6	19,6	15,7	11,1	8,2

Tabla 4.5. Temperatura ambiente media en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).

Gracias al Instituto Catalán de Energía (ICAEN) se puede extraer también la información referente al mapa de radiación solar en Cataluña en 2001 [4], obtenido mediante una interpolación de los datos recogidos por las diferentes estaciones del territorio. En la siguiente figura puede observarse que Torrelles de Llobregat tiene asociada una irradiación global diaria de entre 15 y 15,5 $\frac{MJ}{m^2}$, lo cual sería equivalente a una irradiación de entre 4,17 $\frac{kWh}{m^2}$ y 4,31 $\frac{kWh}{m^2}$.

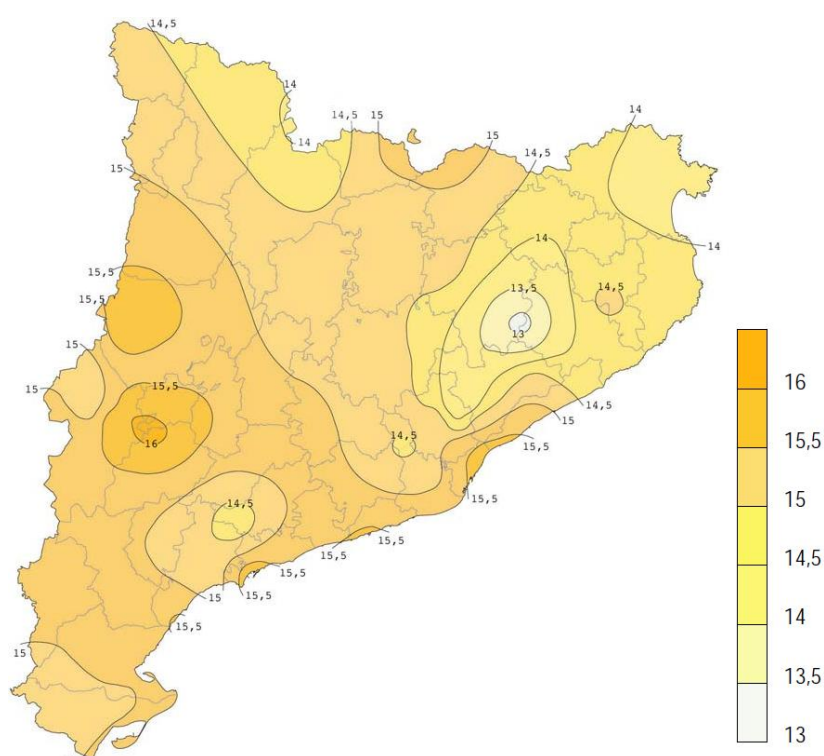


Figura 4.14. Mapa de irradiación solar de 2001 en Cataluña (icaen.gencat.cat).

Con la finalidad de realizar un estudio más detallado la base de datos por provincias de la herramienta oficial CHEQ4 también dispone de la media diaria en cuanto a irradiación solar (expresada en $\frac{MJ}{m^2}$) de la provincia de Torrelles de Llobregat.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación ($\frac{MJ}{m^2}$)	7,8	11,3	15,6	20,5	23,3	25,6	26,4	22,0	17,2	12,0	8,3	6,9

Tabla 4.6. Irradiación media diaria en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).

Con el objetivo de incorporar más información adicional de la climatología se proporciona una tabla de históricos recogidos entre 1981 y 2010 por la estación meteorológica de el aeropuerto de Barcelona situada a 10,27 km de Torrelles de Llobregat y publicada por AEMET [5]. Esta distancia entre la vivienda de estudio y la recogida de históricos puede presentar pequeñas variaciones debido en mayor grado al cambio de altitud respecto el nivel del mar.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Ene	9.2	13.6	4.7	37	70	3.7	0.1	0.3	0.4	1.4	7.5	151
Feb	9.9	14.3	5.4	35	70	4.0	0.2	0.4	1.2	1.2	4.8	163
Mar	11.8	16.1	7.4	36	70	4.5	0.1	0.8	1.7	0.3	5.3	206
Abr	13.7	18.0	9.4	40	69	5.1	0.0	1.3	1.4	0.0	4.0	228
May	16.9	21.1	12.8	47	70	4.7	0.0	1.7	1.2	0.0	4.3	250
Jun	20.9	24.9	16.8	30	68	3.6	0.0	1.5	0.5	0.0	6.8	266
Jul	23.9	28.0	19.8	21	67	1.8	0.0	1.3	0.3	0.0	10.2	305
Ago	24.4	28.5	20.2	62	68	4.5	0.0	3.5	0.3	0.0	6.8	278
Sep	21.7	26.0	17.4	81	70	5.2	0.0	3.5	0.9	0.0	4.3	-
Oct	17.8	22.1	13.5	91	73	6.3	0.0	2.8	0.7	0.0	3.8	182
Nov	13.0	17.3	8.6	59	71	5.1	0.1	1.2	0.7	0.3	5.5	145
Dic	10.0	14.3	5.7	40	69	4.4	0.0	0.4	0.2	1.0	7.0	141
Año	16.1	20.3	11.8	588	69	53.3	0.4	19.9	9.4	3.8	70.4	-

Tabla 4.7. Históricos climatológicos entre 1981 y 2010 en el aeropuerto del Prat (AEMET).

Donde:

- T: Temperatura media (°C).
- TM: Temperatura máxima (°C).
- Tm: Temperatura mínima (°C).
- R: Precipitación (mm).
- H: Humedad relativa (%).
- DR: Número medio de días de precipitación superiores a 1 mm.
- DN: Número medio de días de nieve.
- DT: Número medio de días de tormenta.
- DF: Número medio de días de niebla.
- DH: Número medio de días de helada.
- DD: Número medio de días despejados.
- I: Número medio de días de horas de sol.

4.6. Consumo energético

En este apartado se pretende tener una visión general del consumo eléctrico de la vivienda, haciendo un breve análisis de éste a lo largo del año. Los principales consumidores energéticos presentes se podrían clasificar en grupos diferenciados; electrodomésticos, iluminación, climatización y generación de ACS. Cada uno de ellos contribuye en mayor o menor medida en el consumo eléctrico dependiendo de la época estacional. A continuación se muestra un gráfico correspondiente al consumo de energía eléctrica de la vivienda, extraído directamente de los datos de las facturas mensuales:

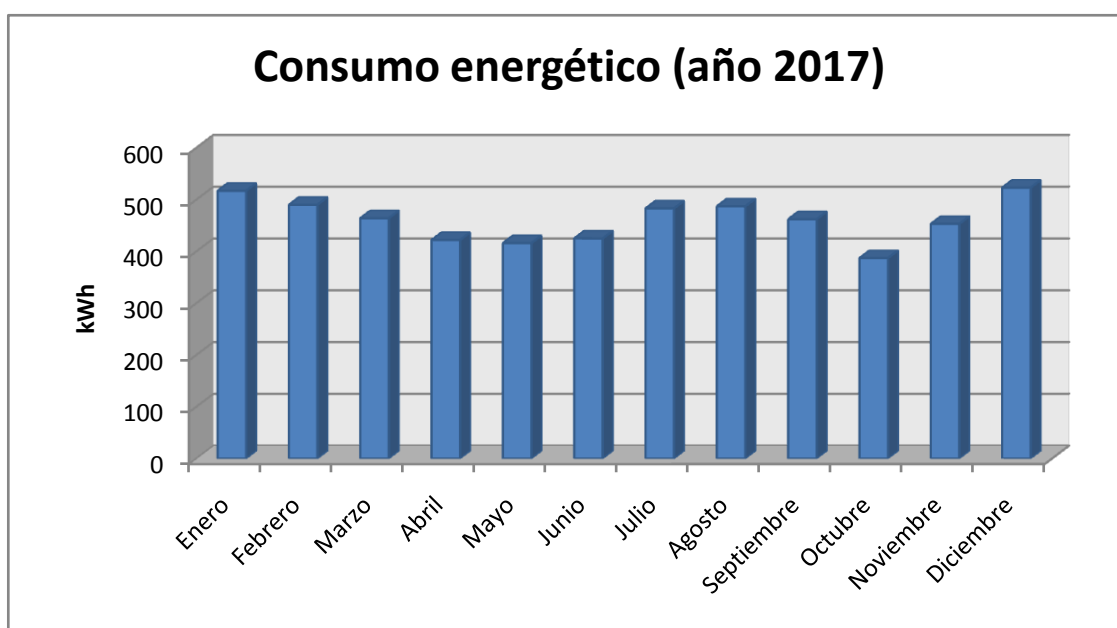


Gráfico 4.1. Consumo eléctrico de la vivienda en 2017 (elaboración propia).

En el gráfico anterior se puede apreciar como los consumos energéticos a lo largo del año se ajustan y adaptan a las temperaturas exteriores propias de cada temporada estacional; para estaciones como verano e invierno, las cuales poseen las temperaturas máximas y mínimas del año respectivamente, se pueden observar picos de consumos debidos al funcionamiento de las bombas de calor para la climatización de la vivienda. En cambio para las estaciones de primavera y otoño, las temperaturas exteriores de las cuales se ajustan más a la temperatura de confort, se observan consumos inferiores debidos al menor trabajo realizado por las bombas de calor. Aún teniendo en cuenta los puntos anteriores el consumo eléctrico mensual se sitúa entre los 387 kWh y 523kWh, lo que supone un consumo anual cercano a los 6000 kWh (redondeando con un factor de imprecisión del 10%).

Con el objetivo de ver el punto de partida energético del que se parte se compara el consumo eléctrico anterior con el consumo anual medio por hogares (tanto unifamiliares como pisos) oficial recogido en el Documento del Sector Residencial en España publicado por IDAE [9]:

	Zona Climática			
kWh/hogar	Atlántico Norte	Continental	Mediterránea	España
Pisos	7.306	9.796	6.128	7.544
Unifamiliares	14.987	19.653	13.239	15.513
España	9.293	12.636	8.363	9.922

Figura 4.15. Consumo anual medio por hogares según zona climática (IDAE).

Comparando los datos oficiales anteriores con el consumo eléctrico de la vivienda anual (entorno a los 6000 kWh) se establece que la condiciones de partida son realmente buenas. Fijando la atención en las zona climática mediterránea y española el consumo eléctrico de la vivienda se sitúa por debajo de la media tanto en el caso de los pisos como en el de las viviendas unifamiliares. Con ello el presente documento pretende optimizar aún más la eficiencia energética de la vivienda puesto que posee de potencial suficiente como para certificar hasta un nivel A (emisiones por debajo de 9 kg de CO_2 anuales por metro cuadrado) con la implantación de las mejoras adecuadas.

5. Certificación energética

5.1. Certificación energética con HULC

5.1.1. Introducción a la simulación con HULC

La herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) ha sido diseñada con la finalidad de verificar el cumplimiento de la normativa de ahorro de energía presente en el Código Técnico de la Edificación (CTE-HE), incluyendo en su plataforma los programas oficiales de evaluación de la demanda y consumo energético (verificación del HE0 y HE1) y de los procedimientos para la certificación energética.

Su campo de verificación se extiende, como se ha dicho anteriormente, a los casos estipulados en el Documento Básico de Ahorro de Energía, concretamente en los apartados 2.2.1 y 2.2.2 de la sección HE0 (edificios de nueva obra o ampliaciones de ya existentes, tanto de uso residencial privado como otros) y en el punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 (edificios existentes, edificios en lo que se lleve a cabo una reforma superior al 25% de la superficie total de la envolvente térmica o edificios en los que se haya producido un cambio de uso característico).

5.1.2. Entrada de datos y simulación

El primer paso a seguir que nos impone HULC [6] es la introducción de los datos generales y administrativos propios de la vivienda. Estos datos le sirven para saber a la hora de simular qué tipo de vivienda está tratando y en qué zona climática se sitúa, así como otros parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar la verificación y certificación pertinente. Los datos se exponen en las siguientes tablas:

Datos generales	
Definición del caso	Edificio Nuevo
Comunidad autónoma	Cataluña
Provincia	Barcelona
Localidad	Torrelles de Llobregat
Altitud	155 msnm
Zona climática	Zona C2 (peninsular)
Tipo de edificio	Vivienda unifamiliar
Ventilación del edificio residencial	0,63 renovaciones/h
Tipo de uso	Residencial

Tabla 5.1. Datos generales de la vivienda para introducir en HULC (elaboración propia).

Datos administrativos	
Nombre del proyecto	Certificado_vivienda
Comunidad autónoma	Cataluña
Provincia	Barcelona
Código postal	08629
Localidad	Torrelles de Llobregat
Tipo de vía	Calle
Nombre de la vía	Sant Pere
Número	12
Puerta	1D

Tabla 5.2. Datos administrativos de la vivienda para introducir en HULC (elaboración propia).

Seguidamente y antes de realizar el diseño de la vivienda se deben definir todos los elementos constructivos de la vivienda, es decir, todos aquellos asociados a paredes exteriores, medianeras, paredes interiores, paredes contra terreno, forjados internos, cimentación contra el terreno y cubierta (todos ellos comentados en el apartado 4.3 del documento). Esta introducción de materiales se traduce en una transmitancia térmica para cada elemento constructivo a la hora de simular la vivienda, las cuales se recogen en la siguiente tabla:

Elemento constructivo	Transmitancia térmica $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
Fachada	0,42
Tabique interior	2,94
Medianera	2,32
Forjado interno	2,14
Forjado del terreno	1,00
Cubierta	0,37
Muro contra terreno	0,42
Suelo exterior	0,37

Tabla 5.3. Transmitancias térmicas de los elementos constructivos de la vivienda (elaboración propia).

El siguiente paso es el diseño de la vivienda. En la herramienta HULC se pueden definir edificios de cualquier tamaño, aún así se deben cumplir una serie de consideraciones tales como no superar el límite de elementos u espacios permitidos, no definir suelos o forjados inclinados ni ventanas de forma no rectangular, suministrar áreas de planta para espacios de altura no constante para el correcto cálculo del volumen interior, etc. Los planos de la vivienda que se introducirán en la herramienta unificada LIDER-CALENER deberán estar simplificados al máximo, definiendo los contornos que delimitan los espacios de la vivienda por el interior de ésta, es decir, quedando el espesor del muro por fuera de la línea definida. Para la realización de los planos se utilizará AutoCAD, definiendo con polilíneas los espacios interiores de la vivienda.

Por último a partir de los archivos de planos (en formato .dxf) importados a HULC se crearán los muros y forjados correspondientes. Cabe decir que la asignación de materiales a cada elemento constructivo la realiza el programa automáticamente y por lo tanto no es capaz de diferenciar medianeras de fachadas, por ello es conveniente revisar uno a uno cada elemento constructivo antes de simular la vivienda. Una vez creados los forjados y muros correctamente, las ventanas, puertas y cubierta inclinada el programa es capaz de verificar el límite de demanda (HE1).

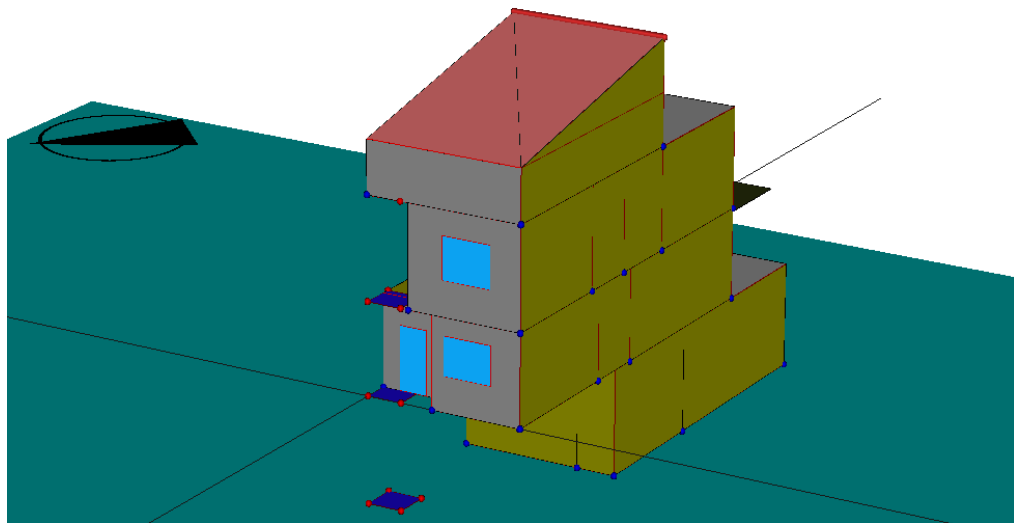


Figura 5.1. Diseño de la vivienda en HULC (elaboración propia).

Una vez verificado el HE1 se pueden añadir los sistemas de climatización a través de la pestaña VYP, donde se introducirán todos los datos técnicos de las instalaciones de climatización (capacidad calorífica y de refrigeración así como también los consumos y los sistemas de difusión) y ACS (tanto instalaciones como definición de la demanda), las cuales vienen descritas en los apartados 4.4.2 y 4.4.3.

En el caso de los sistemas de climatización a parte de proporcionar los datos técnicos se tienen que definir los espacios que se ven influidos por cada una de las bombas de calor (cada una de ellas encargada de los espacios de cada planta) y el caudal de difusión asociado para cada uno de los sistemas terminales de la instalación (determinado a partir del volumen a climatizar).

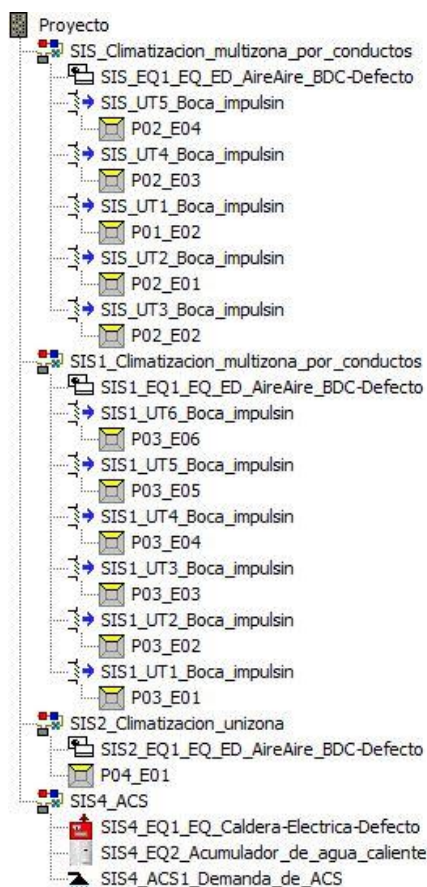


Figura 5.2. Esquema de instalaciones (HULC).

Autónomo bomba de calor

Nombre:

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal	<input type="text" value="7,10"/>	kW
Capacidad sensible de refrigeración nominal	<input type="text" value="4,80"/>	kW
Consumo de refrigeración nominal	<input type="text" value="2,65"/>	kW
Capacidad calorífica nominal	<input type="text" value="7,70"/>	kW
Consumo de calefacción nominal	<input type="text" value="2,62"/>	kW
Caudal de impulsión nominal	<input type="text" value="2700"/>	m³/h

Figura 5.3. Introducción de datos técnicos de la bomba de calor (HULC)

demanda de ACS

Nombre:

Propiedades básicas

Consumo total diario	<input type="text" value="84,00"/>	l/día
Temperatura de utilización	<input type="text" value="60,0"/>	°C
Temperatura del agua de red	<input type="text" value="13,3"/>	°C

Figura 5.4. Introducción de demanda de ACS (HULC).

En cuanto a la descripción del sistema ACS se ha determinado una media de demanda de 84 litros diarios (28 litros diarios por persona según indica la sección HE4 de CTE) y se ha introducido un sistema de generación eléctrico con acumulador tal y como venían descrito en los apartados referentes a las instalaciones de la vivienda (apartado 4.4.3).

5.1.3. Resultados y observaciones

Tras definir la vivienda de la forma indicada en el apartado anterior HULC nos proporciona en primer lugar la verificación del límite de demanda (HE1) donde se muestra el cálculo de demandas asociadas a la climatización y refrigeración, observando si la vivienda cumple o no con la demanda límite asociada. A continuación se muestran los resultados de la verificación del HE1:

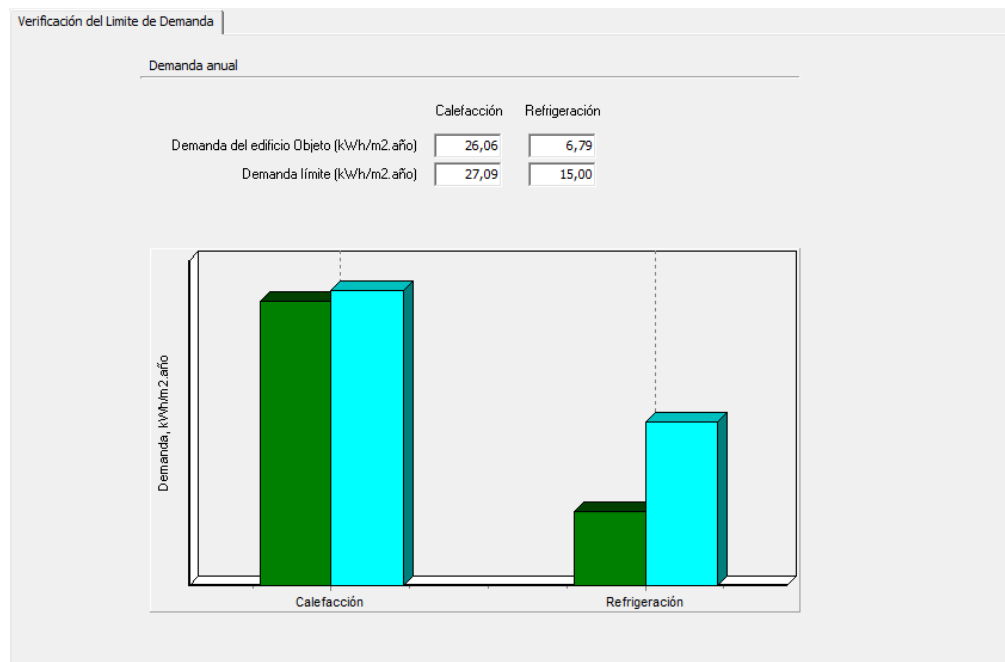


Figura 5.5. Verificación del HE1 actual de la vivienda (HULC).

Se puede observar que la vivienda cumple con los límites de demanda tanto en calefacción como en refrigeración. Mientras que los valores de demanda de calefacción se sitúan muy cerca del límite (entorno al 96,2%) los correspondientes a refrigeración cumplen muy por debajo, alrededor de un 45,3% respecto al límite. Este hecho se debe a la situación geográfica de la vivienda; al tratarse de una zona de montaña la climatología tiende a presentar unas temperaturas más bajas de lo normal y al tratarse de una vivienda de considerables dimensiones necesitará de mucha demanda para alcanzar los criterios de confort. Sin embargo esta climatología de bajas temperaturas beneficia a la demanda de refrigeración, ya que son las mismas condiciones del ambiente las que ayudan a alcanzar el estado óptimo de la vivienda, necesitando de los sistemas de refrigeración sólo en épocas de altas temperaturas.

Tras incluir los sistemas de climatización y ACS se obtienen los resultados asociados a la demanda, consumos y emisiones totales de la vivienda, así como la verificación del límite de consumo (HE0) donde muestra el consumo de energía primaria no renovable de la vivienda y su situación respecto al límite impuesto en la normativa vigente. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la verificación del límite de consumo (HE0):

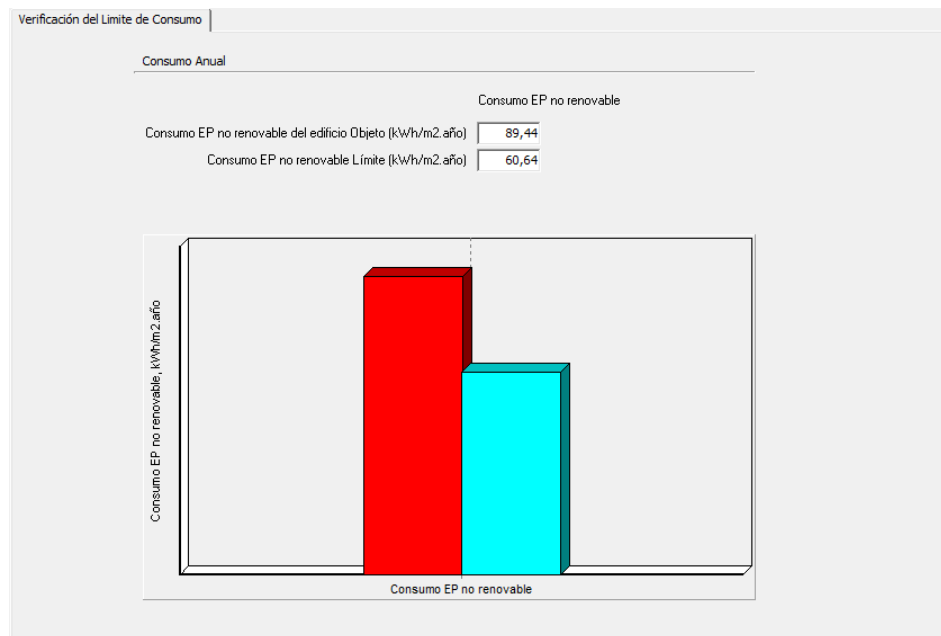


Figura 5.6. Verificación del HE0 actual de la vivienda (HULC).

Estos resultados nos indican que la vivienda no cumple con el límite de consumo impuesto en la normativa vigente, de hecho se sitúa muy por encima de éste. El motivo de este incumplimiento reside en el año de construcción de la vivienda (2001), en el cual estaba vigente otra normativa, cumpliendo los límites impuestos en aquel entonces pero no los actuales, más estrictos y restrictivos.

Finalmente se puede obtener la certificación energética de edificios según el indicador de kilogramos de CO_2 anuales por metro cuadrado, así como el extracto de la información más relevante:

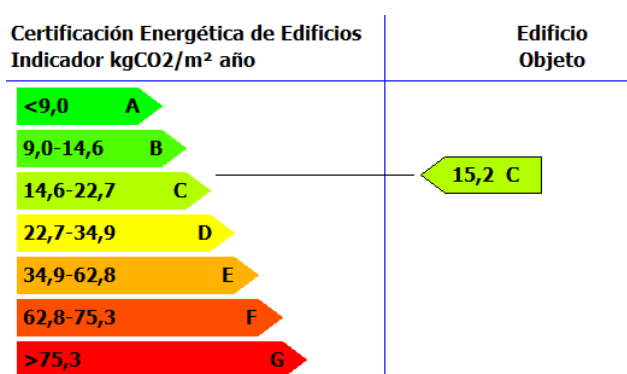


Figura 5.7. Certificación energética actual de la vivienda (HULC).

Para un análisis más eficiente de los resultados se observa que la Herramienta Unificada LIDER-CALENER ofrece una certificación individual de cada parámetro de climatización y ACS, de este modo resulta más sencillo detectar los puntos débiles de la generación energética de la vivienda.

	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Demanda calefacción	B	26,1	3674,3
Demanda refrigeración	C	6,8	957,5
	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Consumo energía primaria no renovable calefacción	B	38,1	5373,7
Consumo energía primaria no renovable refrigeración	C	10,0	1404,3
Consumo energía primaria no renovable ACS	G	41,4	5832,7
Consumo energía primario no renovable totales	C	89,4	12610,7
	Clase	kgCO ₂ /m ² año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO₂ calefacción	B	6,5	910,3
Emisiones CO₂ refrigeración	C	1,7	237,9
Emisiones CO₂ ACS	F	7,0	988,0
Emisiones CO₂ totales	C	15,2	2136,2

Tabla 5.4. Resultados de demandas, consumos y emisiones actuales de la vivienda (HULC).

En este caso el elemento más perjudicial a la hora de extraer el certificado energético es el ACS, debido a que al estar únicamente alimentado por electricidad y tener una consigna mínima de 60 °C para activar su funcionamiento supone un consumo constante excesivo, además de necesitar de un tiempo de calentamiento considerable.

El consumo de energía final anual que percibirá el propietario en sus facturas será de 6453,7 kWh/año. Aún así a través de la herramienta PostCalener se pueden analizar de modo más visual datos producto de la simulación, como pueden ser resultados mensuales y anuales de la demanda.

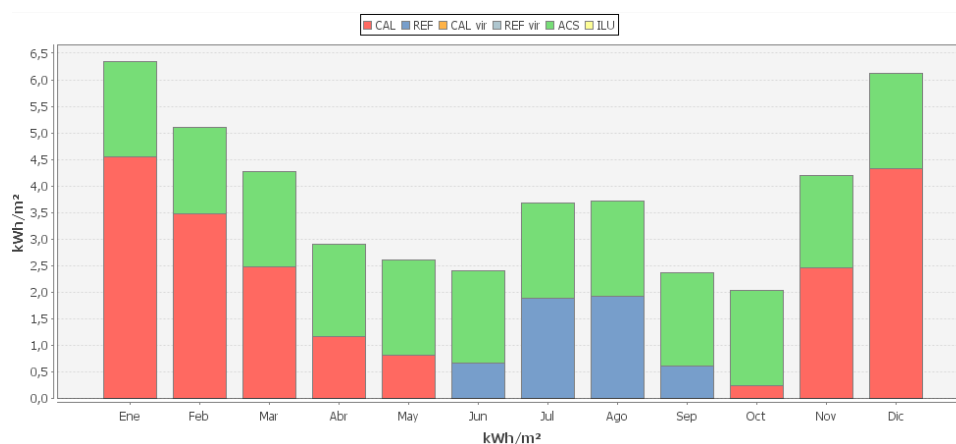


Gráfico 5.1. Demanda energética mensual actual (PostCalener).

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Refrig.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	1.88	1.93	0.62	0.00	0.00	0.00	5.10
Calef.	4.56	3.47	2.47	1.16	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	2.46	4.33	19.51
Refrig. vir.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calef. vir.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Clima.	4.56	3.47	2.47	1.16	0.82	0.66	1.88	1.93	0.62	0.23	2.46	4.33	24.60
A.C.S.	1.78	1.64	1.80	1.74	1.80	1.74	1.80	1.80	1.74	1.81	1.74	1.80	21.17
Total	6.34	5.11	4.27	2.91	2.61	2.41	3.68	3.72	2.36	2.04	4.20	6.12	45.77

Tabla 5.5. Consumo energético actual desglosado en kWh por metro cuadrado (PostCalener).

Otro punto interesante y que se verá más adelante es la posibilidad de recogida de datos para cada una de las 8760 horas que forman el año mediante PostCalener, obteniendo de este modo una mayor precisión en el análisis de potencias caloríficas y de refrigeración suministrada así como su consumo para cada uno de los equipos instalados en la vivienda..

5.2. Certificación energética con OpenStudio

5.2.1. Introducción a la simulación con OpenStudio

Para introducir las bases de OpenStudio en España primero se ha de hablar de SG SAVE, un software avanzado de verificación energética que a partir del pasado 5 de julio de 2018 pasó a ser un programa reconocido para la certificación energética de edificios en España, teniendo plena capacidad para la verificación del HE0 y HE1 del Código Técnico de la Edificación (CTE), conteniendo todas las herramientas indispensables para llevar a cabo la simulación del edificio con todos los requisitos legislativos mencionados en dicho documento.

Este programa se integra a su vez con SketchUp, el cual permite el diseño completo del edificio y con Open Studio, que completa la introducción de instalaciones presentes y otros datos necesarios para llevar a cabo la simulación energética, que será realizada por el motor de cálculo EnergyPlus, uno de los softwares más avanzados para simulaciones energéticas de edificios y desarrollado por el Department Of Energy (DOE) de Estados Unidos.

Así pues la simulación energética mediante este software supone la integración de diferentes herramientas, las cuales trabajan entre ellas para ofrecer al usuario una simulación eficaz.

5.2.2. Entrada de datos y simulación

Tras abrir un nuevo proyecto el programa SG SAVE nos solicita la información general de la vivienda, considerablemente más reducida que la requerida en la Herramienta Unificada LIDER-CALENER. A partir de este punto se requiere seguir detalladamente cada paso hasta completar la simulación con éxito [7].

Datos generales SG SAVE	
Tipo de edificio	Edificio nuevo
Uso	Residencial-Unifamiliar
Zona climática	C2
Localidad extrapeninsular	No
Tasa de ventilación HS3 (renov./hora)	0,63
Permeabilidad de los huecos(m3/h·m2·100Pa)	27

Tabla 5.6. Datos generales a introducir en SGSAVE (elaboración propia).

Tras introducir los datos generales de la tabla anterior se diseña la vivienda siguiendo los planos simplificados que se utilizaron anteriormente, procurando que tanto las paredes exteriores como las particiones interiores queden correctamente definidas e identificadas por OpenStudio. Para ello se utilizará OpenStudio Inspector, una herramienta que permite detectar y analizar la composición de los elementos constructivos de la vivienda así como sus condiciones exteriores de contorno.

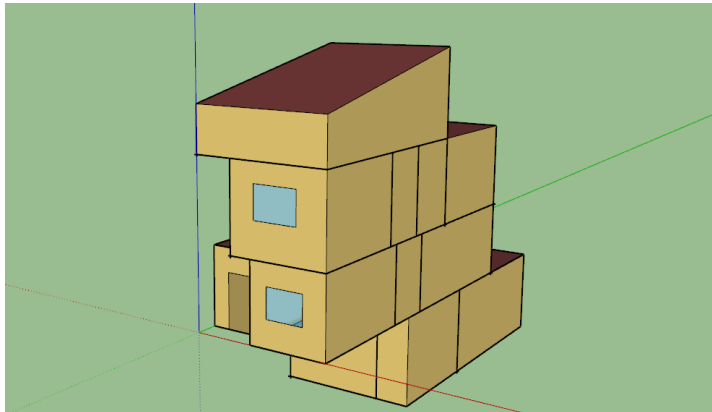
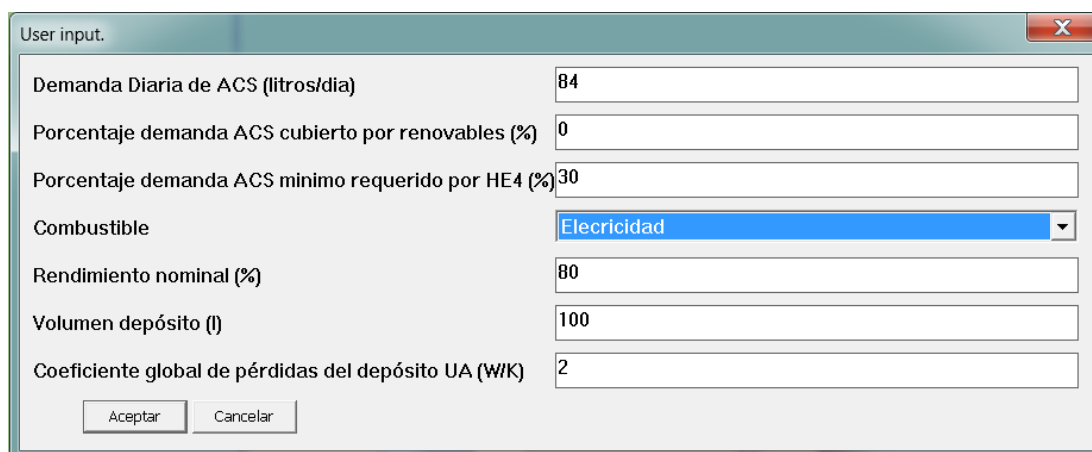


Figura 5.8. Diseño de la vivienda para la simulación con OpenStudio (elaboración propia).

Cabe decir que se ha simplificado parte de la geometría debido a problemas de detección de particiones interiores por parte de OpenStudio, aunque estas simplificaciones son tan leves que apenas influyen en los resultados (sólo 1,5 metros cuadrados de diferencia respecto al modelo HULC). Una vez definida correctamente la envolvente de la vivienda de estudio se definen los espacios habitables y se introducen todas aquellas instalaciones que contribuyen a la climatización de la misma, es decir, las 3 bombas de calor para cada una de las plantas habitables y el sistema de generación de ACS tal y como se muestra en las siguientes figuras:

A screenshot of a software window titled "User input." with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains several input fields and a dropdown menu. The inputs are: "Demanda Diaria de ACS (litros/dia)" with value 84; "Porcentaje demanda ACS cubierto por renovables (%)" with value 0; "Porcentaje demanda ACS minimo requerido por HE4 (%)" with value 30; "Combustible" with a dropdown menu showing "Electricidad" selected; "Rendimiento nominal (%)" with value 80; "Volumen depósito (l)" with value 100; and "Coeficiente global de pérdidas del depósito UA (W/K)" with value 2. At the bottom left are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Parameter	Value
Demanda Diaria de ACS (litros/dia)	84
Porcentaje demanda ACS cubierto por renovables (%)	0
Porcentaje demanda ACS minimo requerido por HE4 (%)	30
Combustible	Electricidad
Rendimiento nominal (%)	80
Volumen depósito (l)	100
Coeficiente global de pérdidas del depósito UA (W/K)	2

Figura 5.9. Introducción de la demanda de ACS en SGSAVE (SGSAVE).

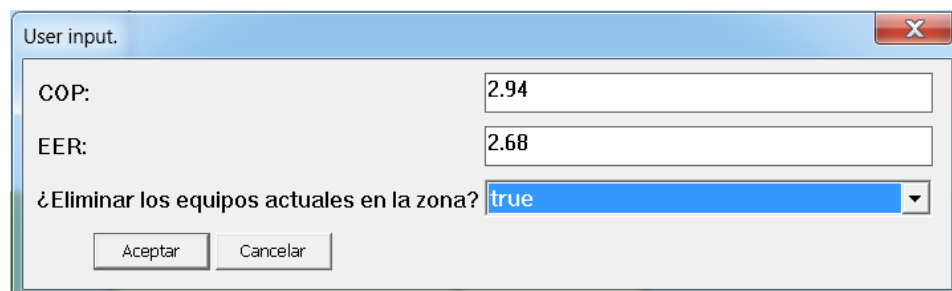


Figura 5.10. Introducción de las bombas de calor en SGSAVE (SGSAVE).

Se observa que la extensión SG SAVE no requiere de la introducción de potencias nominales o capacidad de calefacción y refrigeración de los equipos de la vivienda. En lugar de eso el programa mediante la demanda energética de la vivienda dimensiona las potencias nominales teniendo en cuenta el COP y EER para cubrir dicha demanda.

Una vez realizado tanto el diseño como la introducción de los equipos se procede a la simulación de la vivienda a través del motor de cálculo EnergyPlus.

5.2.3. Resultados y observaciones

La simulación de OpenStudio ofrece infinidad de resultados prácticos pero para el estudio que concierne a este documento solo se mostrará la información más relevante. Por ello el primer paso es mostrar el cumplimiento del límite de demanda y consumo de energía no renovable (verificación del HE0 y HE1) :

Indicador	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
Demanda de calefacción	29,6	27,2	No
Demanda de refrigeración	8,1	15,0	Si

Tabla 5.7. Verificación del HE1 actual (OpenStudio).

Indicador	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
Energía primaria	86,9	60,8491876128	No

Tabla 5.8. Verificación del HE0 actual (OpenStudio).

Podemos observar que sobrepasa el límite de la demanda de calefacción por muy poco mientras que la correspondiente a la refrigeración la cumple sin problemas. Por lo que respecta a la verificación del límite de consumo de energía no renovable la vivienda sobrepasa en exceso el valor límite con un valor muy parecido al obtenido en HULC anteriormente.

Las demandas calculadas por OpenStudio (tanto de calefacción como de refrigeración) describen una curva muy similar a las obtenidas anteriormente tal y como sucedía en HULC. El programa OpenStudio también ofrece una certificación individual de cada parámetro de climatización y ACS, de este modo resulta más sencillo detectar los puntos débiles de la generación eléctrica de la vivienda. Se observa como todos los parámetros que se proporcionan mantienen unos valores muy similares a los establecidos con HULC, resultando el sistema ACS el más perjudicial.

Indicador	Valor	Nota
Calificación emisiones calefacción	6,5 kg CO ₂ /m ² ·año	B
Calificación emisiones refrigeración	1,4 kg CO ₂ /m ² ·año	B
Calificación emisiones ACS	6,8 kg CO ₂ /m ² ·año	F
Calificación emisiones TOTALES	14,7 kg CO ₂ /m ² ·año	C
Calificación energía primaria calefacción	38,4 kWh/m ² ·año	B
Calificación energía primaria refrigeración	8,3 kWh/m ² ·año	C
Calificación energía primaria ACS	40,2 kWh/m ² ·año	G
Calificación energía primaria TOTAL	86,9 kWh/m ² ·año	C

Tabla 5.9. Calificación energética por equipos (OpenStudio).

Para obtener unos resultados más visuales se facilitan los consumos de energía primaria no renovable así como las emisiones de CO₂ por metro cuadrado, obteniendo unos valores de 86,9 kWh y 14,7 kg CO₂ (calificación energética C) por metro cuadrado anuales.

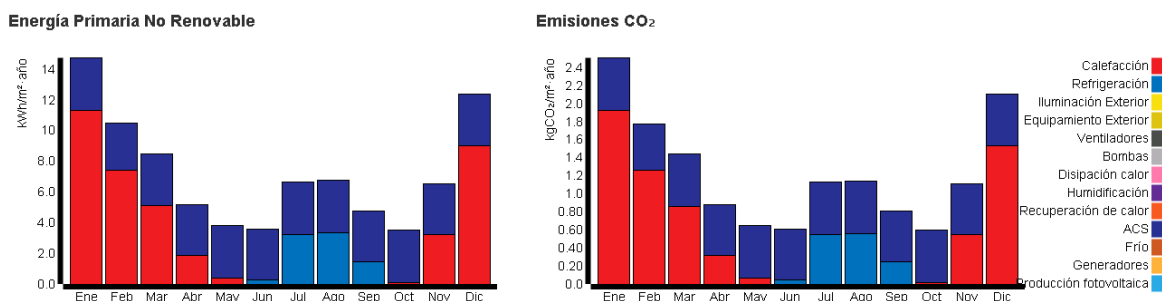


Gráfico 5.2. Energía primaria no renovable y emisiones de CO2 actual (OpenStudio).

Para tener una noción de como se distribuye el consumo energético por equipos de la vivienda éstos se representan en un gráfico circular donde predominan el ACS y la calefacción (los consumos asociados a iluminación y equipos interiores vienen calculados gracias a unos valores estándar que supone OpenStudio).

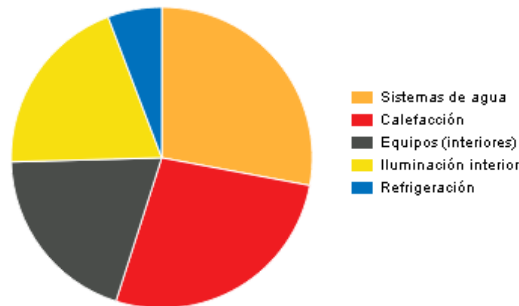


Gráfico 5.3. Consumos actuales de la vivienda por equipos (OpenStudio).

5.3. Comparativa entre resultados de HULC y OpenStudio

Para poder realizar una fiel comparativa entre los programas de simulación energética de edificios se tomará como referencia los resultados de HULC calculando las variaciones de valores de OpenStudio respecto a él. Los valores que se compararán serán los asociados a los límites del HE1 y HE0 así como también las emisiones totales de CO_2 por metro cuadrado:

	HULC	OpenStudio	Variación (%)
Demanda de calefacción $\left(\frac{kWh}{año \cdot m^2}\right)$	26,06	29,6	13,58%
Demanda de refrigeración $\left(\frac{kWh}{año \cdot m^2}\right)$	6,79	8,1	19,30%
Consumo EP no renovable $\left(\frac{kWh}{año \cdot m^2}\right)$	89,44	86,9	-2,84%
Emisiones de CO_2 $\left(\frac{kg \ CO_2}{año \cdot m^2}\right)$	15,2	14,7	-3,29%

Tabla 5.10. Variación de resultados entre HULC y OpenStudio (elaboración propia).

Se puede determinar que los datos obtenidos tanto con HULC como con OpenStudio mantienen una similitud considerable, aunque se observa que hay una mejor aproximación en cuando a consumo primario no renovable y emisiones de CO_2 y una mayor inexactitud en el cálculo de demandas .

Esta variación seguramente es debida a la pequeña simplificación geométrica del modelo diseñado en OpenStudio debido al problema de detección de particiones interiores muy próximas, lo que daría más fiabilidad a los resultados obtenidos en HULC que será el programa utilizado para el análisis de las mejoras a implantar en los apartados posteriores. Finalmente, vistos los resultados tan similares obtenidos mediante ambos programas de simulación energética se puede dar más valor a la fiabilidad del certificado energético, el cual clasifica a la vivienda con un nivel C (situando entre 14,6 y 22,7 las emisiones de CO_2 anuales por metro cuadrado).

6. Estudio de mejoras en la eficiencia energética

Tal y como se ha podido observar en las simulaciones energéticas realizadas por HULC y OpenStudio el no disponer de otra fuente que la eléctrica para la alimentación de los equipos se traduce en una gran penalización a la hora de calcular y verificar el consumo de energía primaria no renovable de la vivienda, siendo el consumo del ACS el más perjudicial para el certificado final de emisiones de CO₂. El hecho de tener un acumulador eléctrico regulado con una temperatura de consigna mínima de 60 °C y estar situado en una zona no climatizada supone un consumo continuo de energía para mantenerse en las temperaturas de operación debido a las múltiples pérdidas.

Por este motivo el primer foco de mejora se centra en cambiar el sistema de ACS de la vivienda y posteriormente se incidirá sobre el resto de opciones para minimizar el consumo energético global recurriendo a la generación fotovoltaica o al dimensionamiento óptimo de los sistemas de climatización.

6.1. Sistema solar térmico para la generación de ACS

Con el fin de mejorar el consumo no renovable para la generación de agua caliente sanitaria (reduciendo de este modo la dependencia de la vivienda respecto a la red eléctrica) se ha optado por la introducción de una instalación térmica solar aprovechando el tejado a un agua del que dispone la vivienda y las cubiertas planas transitables de las terrazas.

Para el correcto dimensionado de esta instalación se optará por la utilización de CHEQ4. Esta herramienta permite validar que se cumplan todos los requisitos recogidos en la sección HE4 del CTE en referencia a la contribución solar mínima de ACS para instalaciones del tipo solar térmica. Este software permite un correcto dimensionado de las instalaciones mediante el método de cálculo MetaSol, basado en curvas realizadas a partir de resultados de simulaciones dinámicas con TRNSYS, capaz de simular el comportamiento en sistemas transitorios evaluando rendimientos de sistemas de energía eléctrica y térmica. Para mejorar la precisión de los resultados CHEQ4 dispone de una extensa base de datos climatológicos de España, así como también de los tipos de instalaciones más habituales.

Al introducir la localización de la vivienda, CHEQ4 muestra al momento la media diaria mensual de los datos climatológicos más relevantes para el cálculo de la instalación:

Irradiación global sobre la superficie horizontal $\left(\frac{MJ}{m^2}\right)$ temperatura del agua de red ($^{\circ}C$) y temperatura ambiente ($^{\circ}C$). A partir de este punto se requiere seguir detalladamente cada paso [8] hasta completar el análisis con éxito.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación (MJ/m ²)	7,8	11,3	15,6	20,5	23,3	25,6	26,4	22,0	17,2	12,0	8,3	6,9
T. agua red ($^{\circ}C$)	8,1	9,1	10,1	11,1	13,1	16,1	18,1	18,1	16,1	14,1	11,1	9,1
T. ambiente ($^{\circ}C$)	7,4	8,1	9,7	11,4	14,6	18,3	21,5	21,6	19,6	15,7	11,1	8,2

Tabla 6.1. Datos climáticos y temperatura de red en Torrelles de Llobregat (CHEQ4).

Los diferentes tipos de instalaciones solares térmicas que se analizarán mediante CHEQ4 serán las siguientes:

- Instalación de consumo único con sistema prefabricado.
- Instalación de consumo único con interacumulador.
- Instalación de consumo único con intercambiador independiente.

La superficie útil para la instalación de las placas solares térmicas es de $34,43 \text{ m}^2$, desglosando en una anchura de 4,56 m y una longitud de 7,55 m, con una orientación noroeste (a 45° respecto al norte) y con una inclinación de $11,46^{\circ}$. No se utilizará la totalidad de dicha superficie por dos motivos; la existencia de extractores eólicos de cubierta para la ventilación de la vivienda y la posibilidad de utilizar el resto de superficie para futuras mejoras sobre el consumo eléctrico.

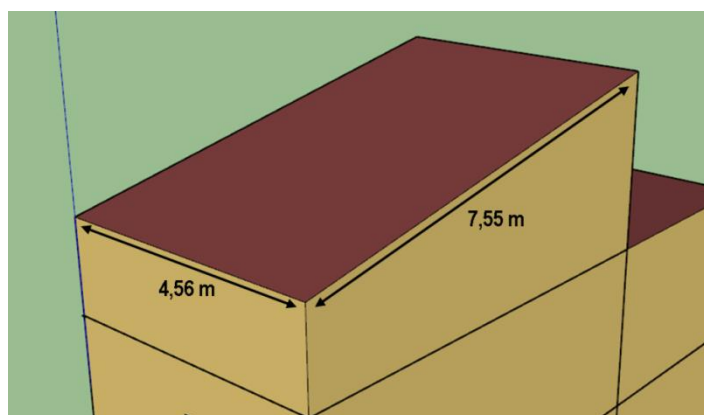


Figura 6.1. Dimensiones de la cubierta de la vivienda de estudio (elaboración propia).

A lo largo del proceso de analizar las diferentes instalaciones a implementar el programa solicita diversos parámetros generales, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Altura de la instalación	155 m
Número de ocupantes	3
Demanda de ACS	84 litros/día
Contribución solar mínima	40%
Material aislante	Espuma de poliuretano
Temperatura de impulsión	60 °C

Tabla 6.2. Parámetros ACS para introducir en CHEQ4 (elaboración propia).

También se debe introducir la ocupación estacional de la vivienda que se corresponde al 100% para todos los meses del año salvo agosto (50%), donde la vivienda deja de ser ocupada durante dos semanas.

Posteriormente y para cada tipo de instalación se definirán los sistemas solares y de apoyo con sus respectivos parámetros, permitiendo al programa calcular los siguientes resultados e indicadores mensuales y anuales:

- Cumplimiento del requisito de contribución solar mínima exigida en el HE4 del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- **Fracción solar (%):** porcentaje resultado de la relación entre la energía solar aportada y la demanda energética.
- **Demanda energética neta (kWh):** demanda resultante obviando las pérdidas de distribución y acumulación.
- **Demanda energética bruta (kWh):** demanda resultante de la resta respecto a la demanda energética neta de las pérdidas asociadas a la distribución y acumulación.

- **Energía solar aportada al sistema (kWh):** energía renovable que es aportada al sistema de ACS.
- **Energía primaria auxiliar aportada al sistema (kWh):** energía primaria no renovable que es aportada al sistema de ACS.
- **Mejora en las emisiones de CO₂ (kg):** Indicador de la reducción de emisiones comparando el sistema solar térmico con alimentación renovable respecto al sistema anterior con alimentación no renovable.

En los siguientes apartados se comentará de forma más detallada las diferentes instalaciones solares térmicas a analizar, sus respectivos parámetros técnicos y los resultados obtenidos. Todos ellos en un primer momento se simularán bajo condiciones estándar comunes (inclinación de 0°C) para observar si alguno de los sistemas destaca por alguna característica intrínseca del resto. Posteriormente se seleccionará el modelo con mejor rendimiento y se desarrollará un estudio más detallado sobre él (ángulo de inclinación óptimo, ubicación del sistema en la vivienda, etc).

6.1.1. Instalación de consumo único con sistema prefabricado

Este tipo de instalación se caracteriza por ser un sistema compacto, incluyendo un colector solar, un acumulador y todos los componentes complementarios para ofrecer agua caliente sanitaria a la vivienda consiguiendo ahorros energéticos destacables, como es el caso de la válvula termostática, encargada de regular el caudal para mantener controlada la temperatura de impulsión en la distribución. El modelo seleccionado es el BAXI STS 150, cuyos datos técnicos vienen incluidos en la base de datos del programa. A continuación se muestran los datos más relevantes asociados al equipo:

BAXI STS 150	
Área (m ²)	1,89 m ²
Volumen (litros)	150
Laboratorio	GENER
Certificación	GPS-8447

Tabla 6.3. Características técnicas BAXI STS 150 (www.baxi.es)

El modelo seleccionado gracias al poseer un soporte puede situarse en la cubierta plana de la segunda planta de la vivienda. Además su funcionamiento es totalmente autónomo gracias al efecto de la circulación natural obviando de este modo los sistemas de regulación. Para garantizar el suministro de ACS se añade un sistema de apoyo del tipo eléctrico; una resistencia calefactora de 2,4 kW capaz de calentar el agua del acumulador cuando la energía solar térmica sea insuficiente.

Una vez simulado la instalación a analizar se obtienen los siguientes valores anuales de los parámetros que extrae el programa:

Fracción solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. aux. prim. (kWh)	Reducción CO2 (kg)
51	1614	2072	1050	2331	367

Tabla 6.4. Resultados anuales sistema ACS prefabricado (CHEQ4).

Para un análisis más detallado de los resultados, éstos se desglosan para cada mes del año:

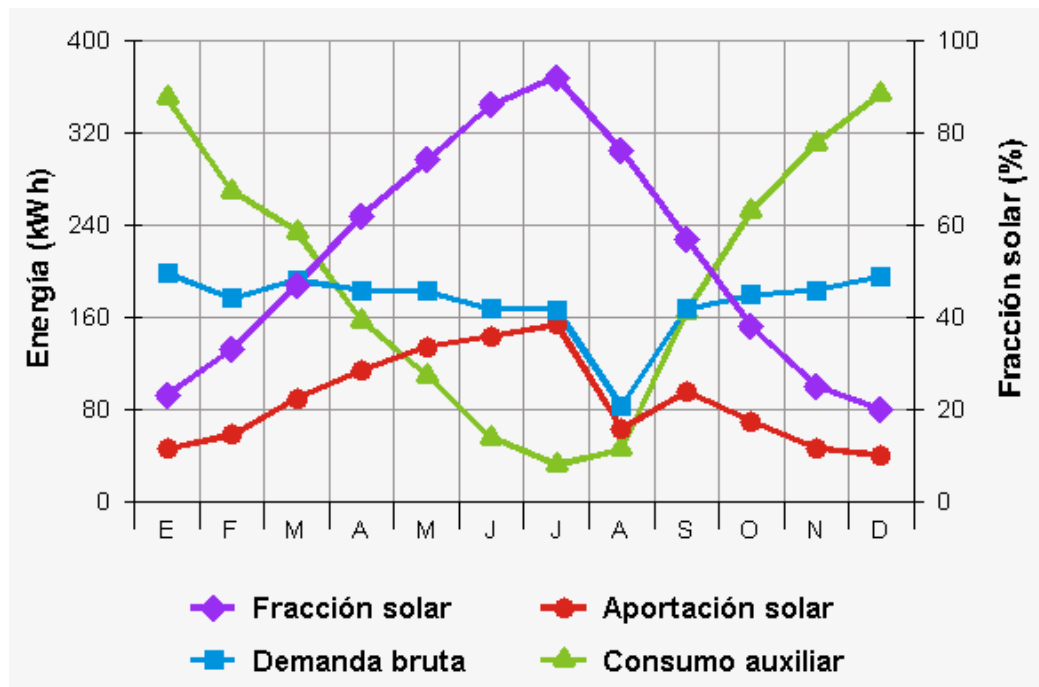


Gráfico 6.1. Resultados anuales sistema ACS prefabricado (CHEQ4).

Se puede observar en el gráfico anterior que para las épocas estacionales más frías se requiere una demanda energética mayor y la aportación solar es escasa debido a la poca irradiación mensual. Cuando se establecen las condiciones exteriores para los meses de verano sucede lo contrario; disminuye la demanda energética y aumenta la aportación solar hasta cubrir la mayor parte de ésta, reduciendo considerablemente el consumo auxiliar proveniente de los sistemas de apoyo eléctricos conectados en serie.

6.1.2. Instalación de consumo único con interacumulador

Este sistema de producción de ACS se compone de un acumulador solar con intercambiador interno, disponiendo de un sistema eléctrico de apoyo a la generación conectado en serie. También posee una válvula termostática encargada de regular el caudal para mantener controlada la temperatura de impulsión en la distribución. En este caso se ha seleccionado un captador modelo GAMESA SOLAR 5000 ST con un interacumulador de 150 litros, cuyos datos técnicos pueden visualizarse en la siguiente tabla:

GAMESA SOLAR 5000ST	
Área (m^2)	2,1
N0	0,728
$A1 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	3,4
$A1 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K^2} \right)$	0,007
$Q_{test} \left(\frac{l}{h \cdot m^2} \right)$	72
K50	0,93
Laboratorio	INETI
Certificación	NPS 15211

Tabla 6.5. Características técnicas Gamesa Solar 5000 ST (CHEQ4).

El número de colectores que se escoge es de uno debido a que la relación entre el volumen de acumulación y el área del colector solar debe oscilar entre 50 y 100, por lo tanto podemos observar que para un único colector se cumple la condición:

$$\frac{\text{Acumulador (litros)}}{\text{Área del colector (m}^2\text{)}} = \frac{150 \text{ litros}}{2,1 \text{ m}^2} = 71,43 \quad (6.1)$$

Una vez simulada la instalación a analizar se obtienen los siguientes valores anuales de los parámetros que extrae el programa:

Fracción solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. aux. prim. (kWh)	Reducción CO2 (kg)
43	1614	2283	982	2966	344

Tabla 6.6. Resultados instalación de consumo único con interacumulador (CHEQ4).

Para un análisis más detallado de los resultados, éstos se desglosan para cada mes del año:

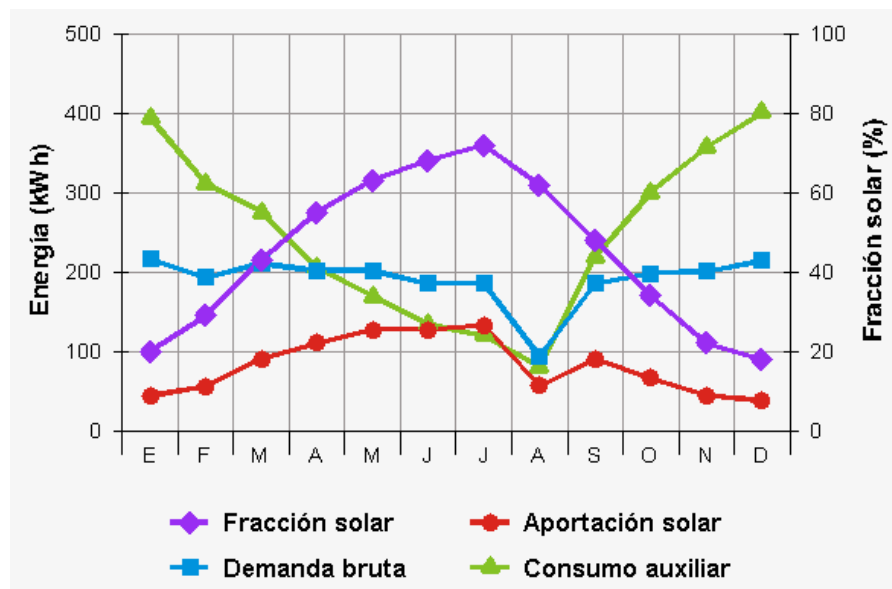


Gráfico 6.2. Resultados instalación de consumo único con interacumulador (CHEQ4).

Esta instalación se comporta del mismo modo que la descrita en el apartado anterior; para las épocas estacionales más frías se requiere una demanda energética mayor y la aportación solar es escasa debido a la poca irradiación mensual. Cuando se establecen las condiciones exteriores para los meses de verano sucede lo contrario; disminuye la demanda energética y aumenta la aportación solar hasta cubrir la mayor parte de ésta, reduciendo considerablemente el consumo auxiliar proveniente de los sistemas de apoyo eléctricos conectados en serie.

6.1.3. Instalación de consumo único con intercambiador independiente

Este tipo de instalación posee las mismas características que la anterior salvo que el intercambiador en este caso es externo al acumulador solar, manteniendo el sistema de apoyo eléctrico conectado en serie. También posee una válvula termostática encargada de regular el caudal para mantener controlada la temperatura de impulsión en la distribución.

Para una mejor comparación con la instalación con interacumulador se utilizará el mismo modelo de captador solar GAMESA SOLAR 5000 ST. Una vez simulado la instalación a analizar se obtienen los siguientes valores anuales de los parámetros que extrae el programa:

Fracción solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. aux. prim. (kWh)	Reducción CO2 (kg)
44	1614	2283	1010	2903	354

Tabla 6.7. Resultados instalación de consumo único con intercambiador independiente (CHEQ4).

Del mismo modo que la instalación anterior el número de colectores que se escoge es de uno debido a que la relación entre el volumen de acumulación y el área del colector solar debe oscilar entre 50 y 100, por lo tanto podemos observar que para un único colector se cumple la condición:

$$\frac{\text{Acumulador (litros)}}{\text{Área del colector (m}^2\text{)}} = \frac{150 \text{ litros}}{2,1 \text{ m}^2} = 71,43 \quad (6.2)$$

Para un análisis más detallado de los resultados, y tal como se ha procedido en los anteriores apartados, éstos se desglosan para cada mes del año:

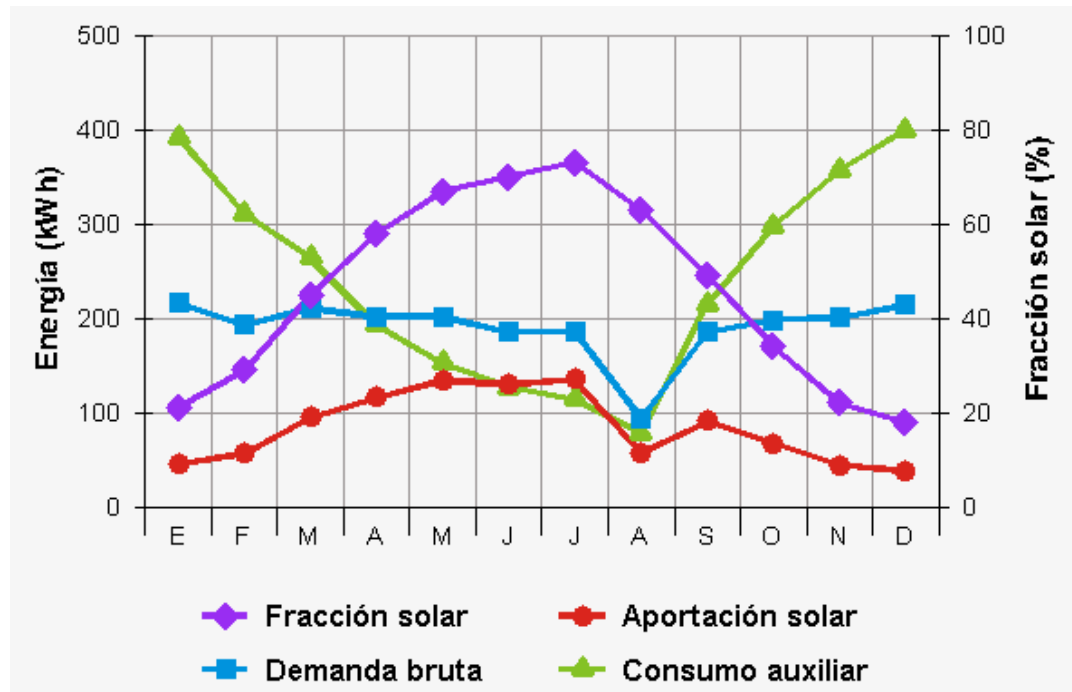


Gráfico 6.3. Resultados instalación de consumo único con intercambiador independiente (CHEQ4).

Esta instalación se comporta del mismo modo que las dos descritas anteriormente; para las épocas estacionales más frías se requiere una demanda energética mayor y la aportación solar es escasa debido a la poca irradiación mensual. Cuando se establecen las condiciones exteriores para los meses de verano sucede lo contrario; disminuye la demanda energética y aumenta la aportación solar hasta cubrir la mayor parte de ésta, reduciendo considerablemente el consumo auxiliar proveniente de los sistemas de apoyo eléctricos conectados en serie.

6.1.4. Selección del sistema de generación de ACS

Tal y como se ha podido observar en las propuestas de las instalaciones térmicas solares para la vivienda los resultados están muy próximos entre ellos, influyendo sobre la generación energética de forma muy similar. Para poder discernir entre ellas se representarán gráficamente sus resultados e indicadores anuales:

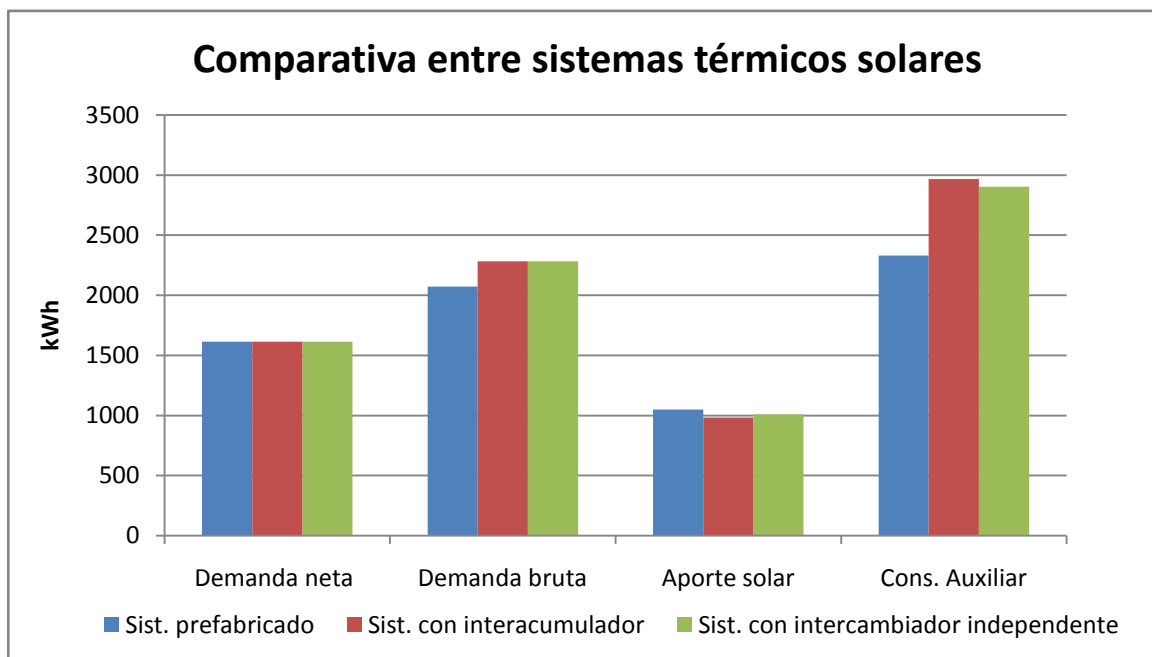


Gráfico 6.4. Comparativa entre sistemas térmicos solares (elaboración propia).

Para una demanda neta constante idéntica el primer dato relevante es el hecho de que el sistema prefabricado posee una demanda bruta inferior al resto. Esto es debido a que dicho sistema posee el acumulador incorporado junto al colector, reduciendo las pérdidas del circuito primario para realizar el intercambio de calor. Esta reducción de pérdidas se traduce en un mayor aporte de energía renovable a la vivienda, reduciendo a su vez el consumo auxiliar procedente del sistema de apoyo. La solución más óptima pasa por lo tanto por la instalación de un sistema de generación solar térmico prefabricado modelo BAXI STS 150 con un acumulador integrado de 150 litros y un sistema de apoyo tipo “termo eléctrico” de resistencias interiores como apoyo auxiliar de 2,4 kW.



Figura 6.2. Modelo BAXI STS 150 (www.baxi.es).

Una vez seleccionado el sistema de generación de ACS tras comparar las diferentes instalaciones en igualdad de condiciones es hora de determinar el ángulo óptimo que deberá mantener el soporte para captar la máxima irradiación posible. Para ello en primer lugar se calcularán los ángulos solares y, dado que el soporte es fijo, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones de declinación (ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que une la Tierra y el Sol):

- En el solsticio de verano se obtendrá una declinación máxima.
- En el solsticio de invierno se obtendrá una declinación mínima.
- Los equinoccios se caracterizan por presentar una declinación nula.

Por lo tanto para las coordenadas exactas de la vivienda se escogerá como referencia para la selección del ángulo de soporte uno de los equinoccios (20 de marzo) por presentar una declinación media respecto al año natural a las 12 del mediodía tal y como se muestra en la siguiente figura:

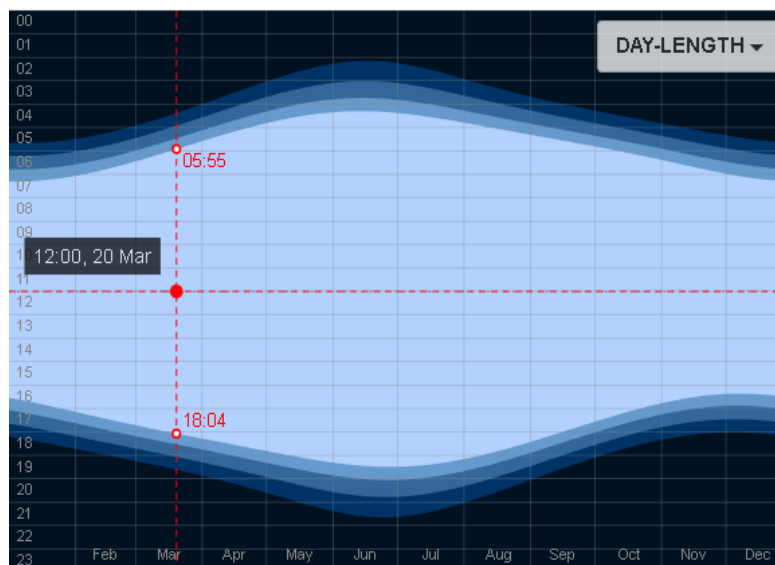


Figura 6.3. Selección del equinoccio para cálculo de ángulos solares (3D SunPath).

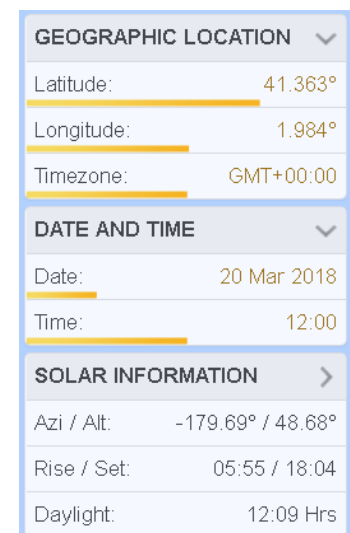


Figura 6.4. Datos de ángulos solares (3D SunPath).

Se observa que la altura solar (α) en dichas condiciones es de $48,68^\circ$ con un ángulo acimutal (ψ) de $-179,69^\circ$, formado desde el punto cardinal Norte a lo largo del plano ecuatorial hasta el punto de proyección del sol respecto dicho plano, es decir, prácticamente apuntando directamente en dirección sur. A partir de dichos ángulos se puede calcular fácilmente el ángulo del soporte (β) de la instalación:

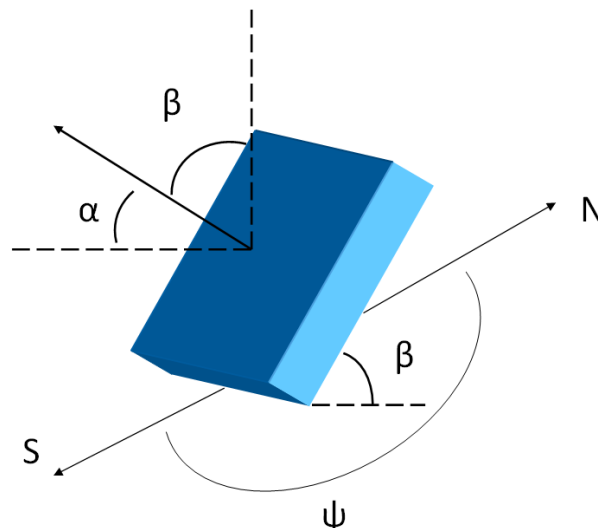


Figura 6.5. Descripción de los ángulos solares en la instalación solar térmica (elaboración propia).

$$\text{Ángulo del colector } (\beta) = 90 - \text{Declinación } (\alpha) = 90^\circ - 48,68^\circ = 41,32^\circ \quad (6.3)$$

Para esta configuración del sistema prefabricado se podrá obtener con mayor precisión los valores anuales de los parámetros que extrae el programa:

Fracción solar (%)	Demanda neta (kWh)	Demanda bruta (kWh)	Aporte solar (kWh)	Cons. aux. prim. (kWh)	Reducción CO2 (kg)
56	1614	2072	1156	2089	405

Tabla 6.8. Resultados finales instalación solar térmica prefabricada (CHEQ4).

Observamos de este modo como aumenta el aporte solar de la instalación, reduciendo el consumo auxiliar y las emisiones de CO_2 . El porcentaje de energía eléctrica renovable aportada a la generación de ACS es la siguiente:

$$\text{Generación ACS renovable } (\%) = \frac{1156 \text{ kWh (cons. renovable)}}{2072 \text{ kWh (demanda bruta)}} \cdot 100 = 55,8 \% \quad (6.4)$$

Se concluye que la implementación del sistema prefabricado solar térmico contribuiría a más de la mitad del consumo para la generación de ACS para la vivienda, ayudando de este modo a reducir el consumo primario de energía no renovable.

6.1.5. Alternativa al sistema de apoyo

Si además de introducir el sistema solar térmico cambiamos el sistema de apoyo por un calentador eléctrico instantáneo la mejora energética puede presentar mayores prestaciones debido a que los acumuladores tipo termo eléctrico tienden a ser poco eficientes debido a las resistencias de alto consumo que incorporan y el tiempo necesario para calentar el agua en el interior para mantenerla entre las temperaturas de consigna.

Se observarán los cambios al introducir al sistema de generación de ACS un calentador eléctrico instantáneo modelo JUNKERS ED6 que podría situarse en la segunda planta cerca de la instalación térmica solar. Las características técnicas del calentador pueden visualizarse en la siguiente tabla:

Calentador instantáneo Junkers ED6	
Dimensiones (mm)	250x144x100
Potencia útil (kW)	6
Presión de encendido (bar)	1
Caudal característico (l/min)	3,4
Tensión de suministro (V)	220V-240V

Tabla 6.9. Características técnicas calentador instantáneo Junkers ED6 (www.junkers.es).

En el siguiente apartado donde se simulará la vivienda con HULC se dedicará un pequeño espacio a la instalación térmica solar trabajando con el calentador instantáneo eléctrico como sistema de apoyo.

6.1.6. Simulación energética de la instalación térmica solar en HULC

A continuación se introducen los cambios en HULC para observar la mejora sobre el consumo energético de la vivienda con la instalación térmica solar únicamente. La incidencia sobre el consumo de ACS es directa, mejorando se calificación individual de un G a una E (lo que corresponde a una reducción desde 45,77 a 25,3 kWh anual por metro cuadrado habitable), con el porcentaje de mejora siguiente:

$$\text{Reducción consumo ACS (\%)} = \left(\frac{25,3 - 45,77 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}} \right)}{45,77 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}} \right) \cdot 100 = -44,72\% \quad (6.5)$$

Esta reducción del 44,72% sobre el consumo del ACS supone una disminución considerable del consumo primario no renovable para la verificación del límite de consumo (HE0) debido a la introducción del sistema solar térmico aunque sigue sin cumplir el límite impuesto en el CTE, pasando de 89,44 kWh a 73,35 kWh anuales por metro cuadrado. Esto supone una reducción del 17,99% del consumo de energía primaria no renovable:

$$\text{Reducción EP no renov. (\%)} = \left(\frac{73,35 - 89,44 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}} \right)}{89,44 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}} \right) \cdot 100 = -17,99\% \quad (6.6)$$

Si realizamos una modificación en la instalación cambiando el sistema de apoyo tipo termo eléctrico por el calentador eléctrico instantáneo modelo JUNKERS ED6 descrito en el apartado anterior se reduce considerablemente el consumo energético de la vivienda:

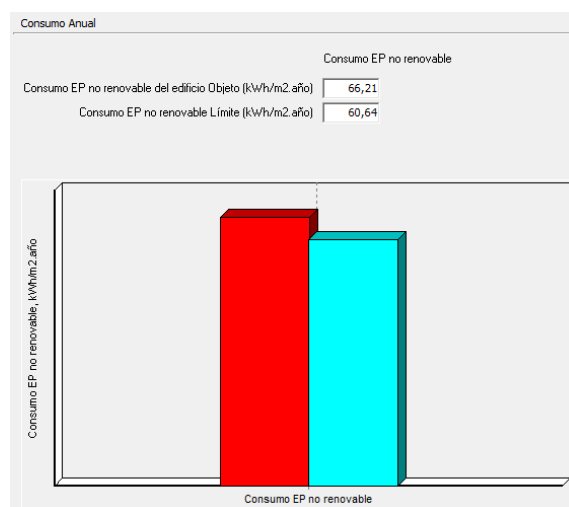


Figura 6.6. Verificación del HE0 con las instalación solar térmica (HULC).

Lo que supone una reducción del consumo de energía primaria no renovable de:

$$\text{Reducción EP no renov. (\%)} = \left(\frac{66,21 - 89,44 \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}} \right)}{89,44 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}}} \right) \cdot 100 = -25,97\% \quad (6.7)$$

Donde el consumo de energía final anual que percibirá el propietario en sus facturas será de 4777,7 kWh/año, lo que supone una reducción energética idéntica a la del nuevo consumo de energía primaria no renovable.

$$\text{Reducción del consumo (\%)} = \left(\frac{4777,7 - 6453,7 \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right)}{6453,7 \frac{kWh}{\text{año}}} \right) \cdot 100 = -25,97\% \quad (6.8)$$

Esta reducción en el consumo de energía primaria no renovable se traduce en una reducción de las emisiones de CO_2 y, por lo tanto, una mejora en el certificado energético llegando a un obtener una calificación de B, donde las emisiones se sitúan entre 9 y 14,6 kilogramos de dióxido de carbono anual por metro cuadrado.

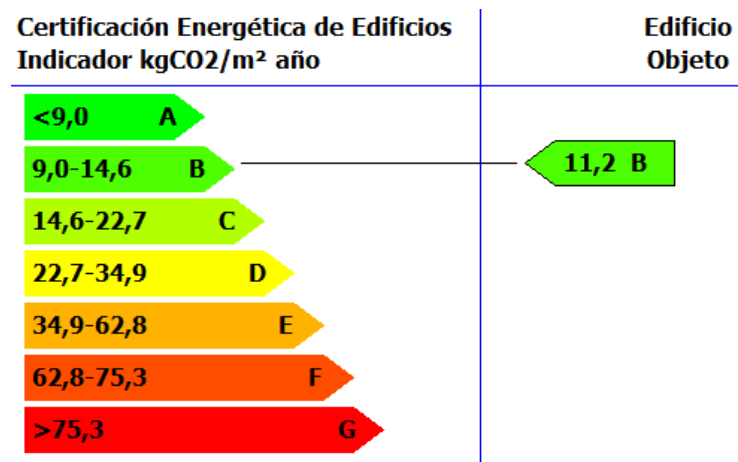


Figura 6.7. Certificación energética de la vivienda con la instalación solar térmica (HULC).

6.2. Dimensionamiento de los equipos de climatización

A partir de los resultados obtenidos en la simulación energética de la vivienda con HULC y OpenStudio se ha podido determinar que el segundo punto desfavorable es el alto consumo para su climatización, sobretodo el destinado a la calefacción.

Consumos Energía Final	Edificio Objeto	
	kWh/m ² año	kWh/año
Calefacción	19,5	2750,1
Refrigeración	5,1	718,7
ACS	9,3	1308,9
Global	33,9	4777,7

Tabla 6.10. Consumos de energía final con la instalación solar térmica (HULC).

Si analizamos más detalladamente este hecho observamos que en la Herramienta Unificada LIDER-CALENER, aunque en la introducción de datos se le proporcionó unos equipos de climatización con sus COP y EER correspondientes, en los resultados se establecen unos valores de éstos experimentales con el objetivo de saber el correcto funcionamiento de los equipos para la vivienda. A continuación se reflejan en la siguiente tabla los valores del COP y EER intrínsecos de los equipos así como los experimentales calculados por HULC:

	Valores teóricos		Valores experimentales	
	COP	EER	COP	EER
Equipo 1 (planta baja)	2,94	2,68	1,498	1,369
Equipo 2 (1ª planta)	2,94	2,68	1,585	1,851
Equipo 3 (2ª planta)	2,63	2,38	1,689	1,954

Tabla 6.11. Valores del COP y EER teóricos y experimentales de los equipos (HULC).

Los valores del COP y EER de los equipos calculados a partir de HULC son considerablemente bajos comparados con los valores nominales a los que pueden trabajar según su ficha técnica. Este hecho demuestra un incorrecto funcionamiento de los equipos para el volumen destinado a la climatización o la aparición de zonas con gran dificultad para alcanzar los criterios de confort. Gracias al programa ViSol se puede analizar espacio por

espacio la demanda energética tanto de calefacción como de refrigeración y los componentes que inciden más sobre ésta.

Al comprobar los espacios que presentaban los casos más desfavorables se observan puntos débiles en la vivienda; ejemplo de ello es el volumen asociado a las escaleras que descienden hasta el pequeño espacio que da paso posteriormente al garaje, suponiendo una pérdida de calefacción realmente considerable, llegando a necesitar el doble de consumo por metro cuadrado para su climatización que otros espacios de la vivienda. El problema principal reside en el hecho de querer climatizar un espacio en contacto con el terreno y adosado a espacios no acondicionados con sistemas de difusión por techo; la baja densidad del aire caliente impide llegar a las zonas frías del suelo en contacto con el terreno, lo que supone una constante de pérdida de energía para los equipos.

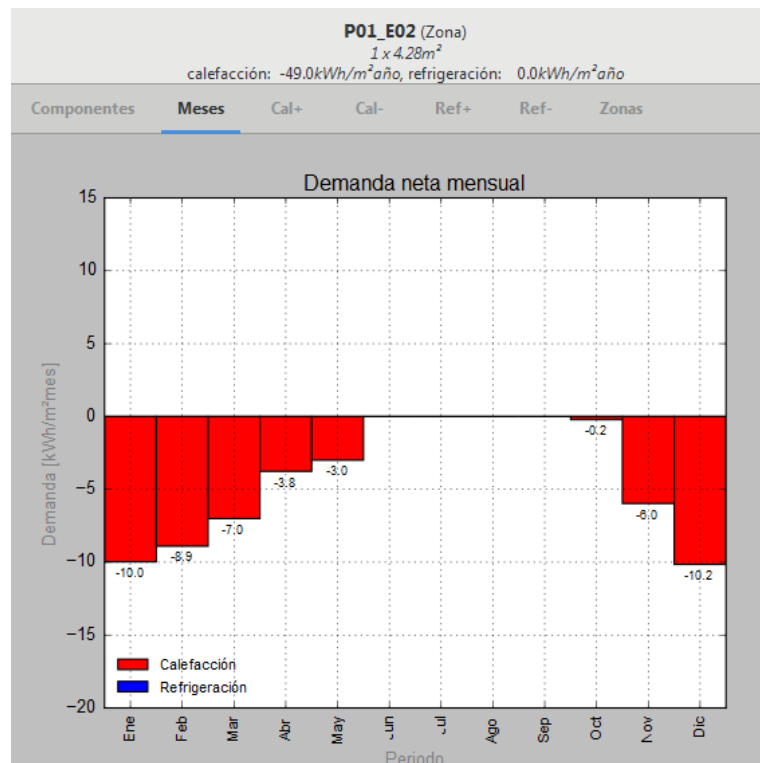


Gráfico 6.5. Demanda neta mensual para un espacio con valores críticos (ViSol).

En este caso las pérdidas están asociadas al contacto del espacio con el terreno pero existen otros espacios en la vivienda que presentan una demanda mayor por otros motivos. Este hecho supone un cambio en el dimensionamiento que se pensó en un primer momento a la hora de introducir los caudales de difusión por zonas; si bien en un principio éste se

dimensionó en función del volumen a climatizar a continuación se dimensionará en función de la demanda energética de cada espacio (únicamente para las dos primeras plantas ya que la segunda planta dispone de un espacio único) siguiendo la siguiente fórmula:

$$Difusión\ espacio\left(\frac{m^3}{h}\right)=\frac{Dem.energ.espacio\left(\frac{kWh}{año}\right)}{Dem.energ.total\left(\frac{kWh}{año}\right)}\cdot Impul.equipo\left(\frac{m^3}{h}\right)\quad (6.9)$$

Los valores del COP y EER devueltos por HULC para cada espacio presentan los siguientes valores:

	Dimensionamiento por volumen		Dimensionamiento por demanda energética		Mejora (%)	
	COP	EER	COP	EER	COP	EER
Equipo 1 (planta baja)	1,498	1,369	1,597	1,651	6,6%	20,3%
Equipo 2 (1ª planta)	1,585	1,851	1,644	1,959	3,7%	5,8%

Tabla 6.12. Mejora del COP y EER experimental (elaboración propia).

Se observa que los valores del COP y EER de los espacios aunque mejoran su valor siguen siendo relativamente bajos (también se ha de tener presente la antigüedad de más de 15 años los equipos), trabajando por debajo de sus valores teóricos. Para un estudio detallado se analizará el consumo y energía suministrada horaria durante todo el año de los equipos de climatización, observando su funcionamiento. Estos datos son extraídos mediante el programa PostCalener, el cual lista en una plantilla Excel los parámetros de demanda y consumo de los diferentes equipos para cada una de las 8760 horas que forman un año natural.

Se estudia pues el comportamiento de cada uno de los equipos de climatización a lo largo del año (donde cada uno está asociado a una planta de la vivienda). Para ello se compara el consumo de calefacción y refrigeración con la energía que suministra cada equipo de la vivienda, obteniendo los siguientes resultados para el caso más desfavorable, es decir, la energía calorífica de la planta baja:

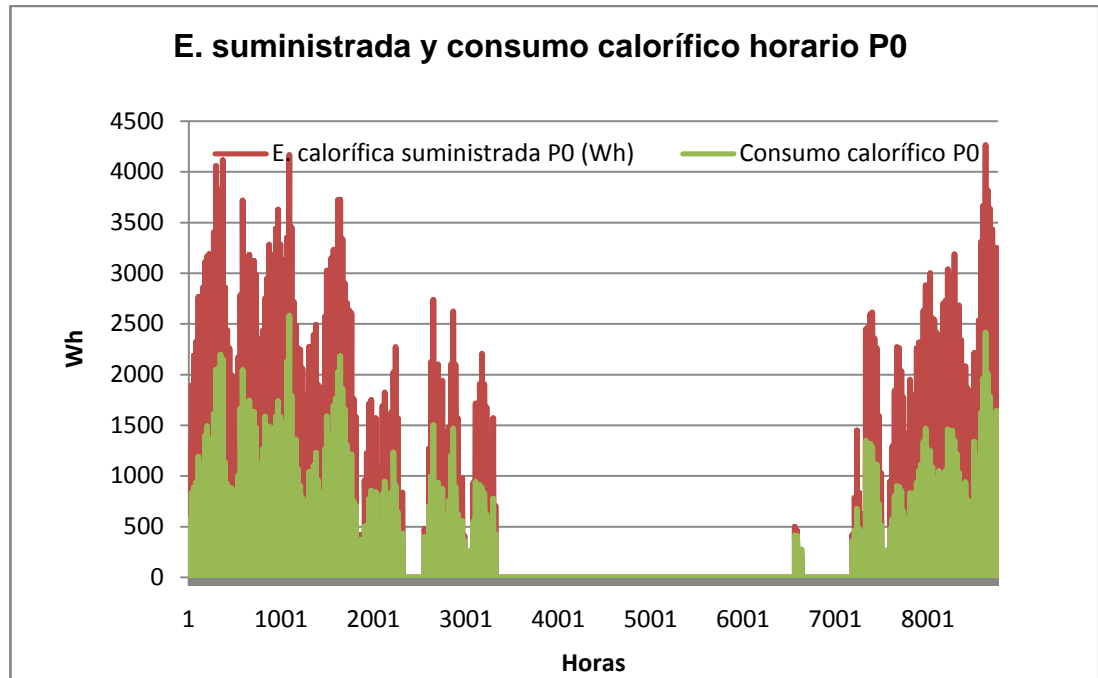


Gráfico 6.6. Energía suministrada y consumo calorífico de la planta baja (elaboración propia)

En el gráfico anterior se pueden observar los períodos anuales de mayor demanda y consumo asociado a la bomba de calor que climatiza la planta baja. Con la finalidad de analizar más al detalle se ordenan los datos anteriores de mayor a menor creando una curva de demanda y consumo asociado a la bomba de calor :

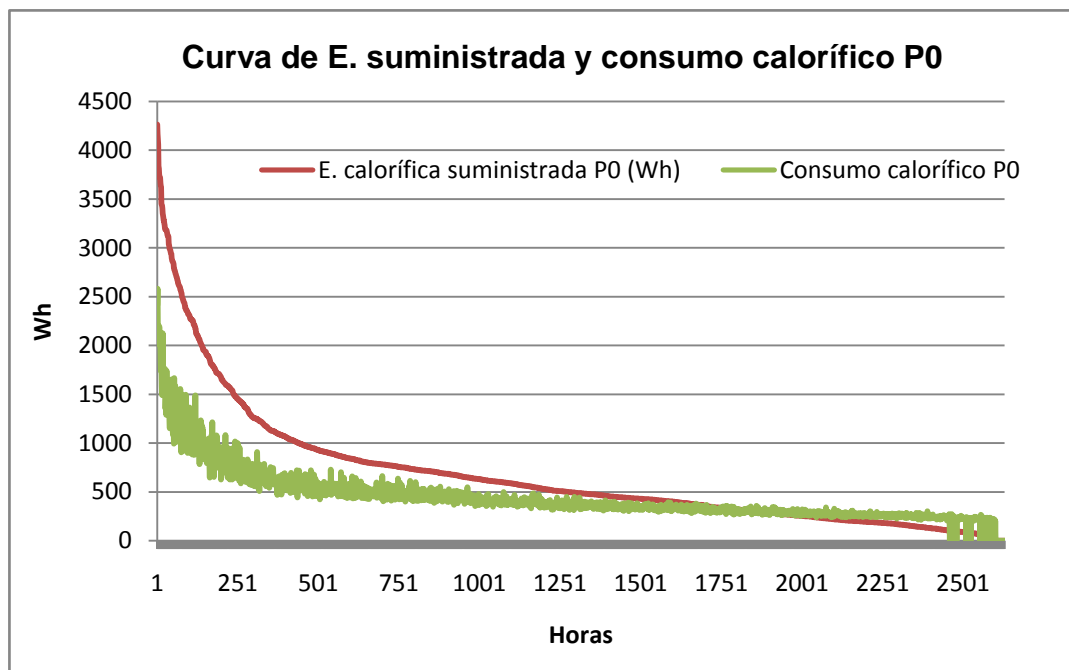


Gráfico 6.7. Curva de energía suministrada y consumo calorífico en planta baja (elaboración propia).

Al analizar la curva de consumo y energía calorífica suministrada se concluye que los equipos están correctamente dimensionados puesto que cubren la demanda de la vivienda aunque los bajos valores experimentales del COP y EER proporcionados por HULC son fruto de la puesta en marcha de las bombas de calor para pequeñas demandas de calefacción, para las cuales se consume más energía de la que suministra al interior, obteniendo un COP mayor únicamente para demandas caloríficas elevadas. Esto no sucedería en cuanto a refrigeración puesto que para demandas bajas de ésta el propio clima de la zona cubre en parte esa demanda.

La solución pasaría por añadir pequeños equipos de calefacción para cubrir las pequeñas demandas o por la sustitución de los equipos actuales por unos más eficientes. Cualquiera de las dos soluciones supone un coste económico elevado; nuevos modelos muy eficientes para las tres bombas de calor podría suponer una inversión de 3000 euros por cada equipo y la instalación de nuevos equipos de calefacción para cubrir pequeñas demandas podría suponer la adquisición de nuevas formas de generación energética que podrían tener un coste económico elevado. Se opta por ello conservar únicamente el dimensionamiento de la difusión según la demanda energética asociada para mejorar ligeramente el COP y EER de las instalaciones presentes y se apuesta por una tercera mejora que se comenta en el siguiente apartado: la generación fotovoltaica. Se pretende de esta forma cubrir el gasto asociado al consumo calorífico y de refrigeración de baja demanda mediante la aportación de energía renovable.

6.3. Generación fotovoltaica

Con el objetivo de cumplir con la verificación del límite de consumo (HE0) del CTE se opta por cubrir parte de la demanda mediante generación fotovoltaica a través de paneles situados en la cubierta de la vivienda, aprovechando de este modo la superficie disponible de $34,43 \text{ m}^2$, formada por una anchura de 4,56 m y una longitud de 7,55 m, con orientación noroeste (a 45° respecto al norte) y con una inclinación de $11,46^\circ$. Cabe decir que no utilizará la totalidad de la cubierta debido a la existencia de extractores eólicos para la ventilación de la vivienda.

Dado que en este caso no se dispone de un software para el cálculo automático para la instalación fotovoltaica se aproximarán los resultados mediante cálculos teóricos. Para realizar dichos cálculos con la máxima precisión posible se deberá tener en cuenta diferentes factores:

- Radiación solar: radiación que llega a la superficie terrestre y que está formada por 3 componentes: radiación directa, difusa y reflejada:
 - Radiación directa: radiación que llega a la superficie terrestre sin haber sufrido ningún cambio en su dirección de avance.
 - Radiación difusa: radiación que llega a la superficie terrestre tras haber sufrido numerosos cambios en su dirección debido a procesos de reflexión y/o difusión.
 - Radiación reflejada: fracción de la radiación solar que es reflejada por el suelo u otros elementos presentes en la superficie terrestre que posteriormente puede ser reabsorbida por otro elemento.
- Orientación e inclinación de las placas fotovoltaicas
- Eficiencia del inversor.

Se opta por una instalación fotovoltaica aislada frente a una conectada a la red pues de esta forma se consume toda la energía renovable generada gracias a su acumulación en baterías. Para la implementación en la vivienda se escoge el kit solar Casa Campo 3000W 24V que incluye todos los componentes necesarios para su instalación los cuales se listan a continuación (donde los 3000W especificados en el modelo son los capaces que puede llegar a producir en un día):

- 4 paneles solares 330W a 24V Talesun.
- 1 inversor + cargador + regulador MPPT 3000W 24V Must Solar.
- Complemento wifi inversores Must Solar.
- 2 baterías 12V 250Ah U-Power TFS
- Estructura sobre cubierta inclinada.
- Cableado y conectores Weidmuller PVStick.
- 1 repartidor y caja estanca para el conexionado de las placas fotovoltaicas.

Un desglose algo más detallado de las características técnicas principales de las placas solares y el inversor se representa en las siguientes tablas:

Panel solar 330W 24V Telesun

Dimensiones (mm)	1960x992x40 mm
Superficie por placa (m²)	1,944 m ²
Número de células	72
Tipo de células	Policristalina
Potencia máxima (Wp)	330W
Voltaje de operación (V)	37,7 V
Intensidad de operación (A)	8,76 A
Eficiencia del módulo	17%

Tabla 6.13. Características técnicas panel solar 330W 24 Telesun (autosolar.es).

Inversor MPPT 3000W 24V Must Solar

Voltaje del inversor (V)	24V
Voltaje de salida	230 VAC
Eficiencia del inversor (%)	93%

Tabla 6.14. Características técnicas inversor MPPT 3000W 24V Must Solar (autosolar.es).

El sistema tiene un funcionamiento sencillo: las placas solares van conectadas al conjunto regulador/inversor/cargador, encargado de gestionar la carga y descarga inteligente de energía de la batería así como de proporcionarla a aquellos consumos de corriente continua (de forma directa) o de corriente alterna (transformando el voltaje de entrada de 12V a 230V apto para los consumidores energéticos mediante el inversor). Cuando no se necesite de consumo en ese momento ordenará la carga de las batería, las cuales también van unidas al conjunto. Este conjunto complementario se localizará en la segunda planta de la vivienda, lo más cerca posible de los captadores fotovoltaicos.

A continuación se procede al cálculo de generación fotovoltaica por parte de la instalación descrita. Para ello se parte de la declinación (δ) media para cada mes del año mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (6.10)$$

Donde n es el número del día dentro de un año natural, siendo $n=1$ el día 1 de enero y $n=365$ el 31 de diciembre. Para el cálculo aproximado de la declinación mensual se tomará un día situado entre el día 10 y 20 de cada mes.

Posteriormente mediante ese valor y la latitud correspondiente a la ubicación de la vivienda se puede determinar la altura solar y finalmente mediante la relación de ángulos siguiente se determina el ángulo de incidencia sobre las placas.

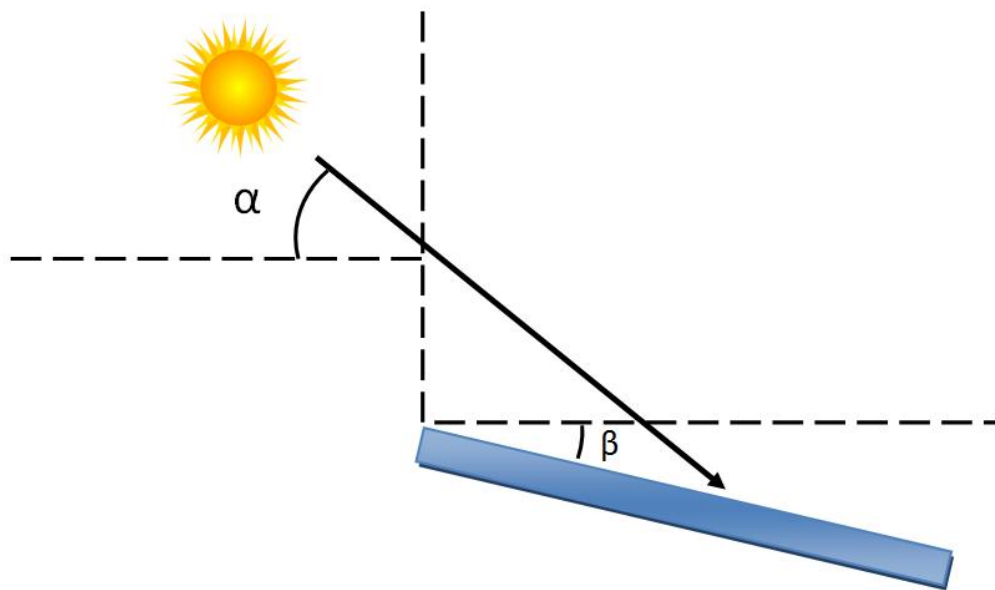


Figura 6.8. Descripción de ángulos en la instalación fotovoltaica (elaboración propia).

Donde el ángulo de incidencia (φ) será:

$$\varphi = \alpha - \beta \quad (6.11)$$

Donde el ángulo de inclinación es el correspondiente al de la cubierta de la vivienda ($\beta = 11,46^\circ$) tanto por limitaciones del soporte escogido como para reducir la complejidad de su instalación y el mantenimiento asociado.

A continuación se recogen en una tabla todos los ángulos solares calculados para cada mes del año:

Mes	n	Declinación (°)	Latitud (°)	Ángulo solar (°)	Incidencia (°)
Enero	15	-21,27	41,36	20,09	8,63
Febrero	45	-13,62	41,36	27,74	16,28
Marzo	75	-2,42	41,36	38,95	27,49
Abril	105	9,41	41,36	50,78	39,32
Mayo	135	18,79	41,36	60,15	48,69
Junio	165	23,27	41,36	64,63	53,17
Julio	195	21,67	41,36	63,04	51,58
Agosto	225	14,43	41,36	55,79	44,33
Septiembre	255	3,42	41,36	44,78	33,32
Octubre	285	-8,48	41,36	32,88	21,42
Noviembre	315	-18,17	41,36	23,19	11,73
Diciembre	345	-23,12	41,36	18,24	6,78

Tabla 6.15. Ángulos solares para cada mes del año (elaboración propia).

A partir de los valores de irradiación mensual (I) proporcionada por la base de datos del CHEQ4 (la cual se debe convertir a unidades kWh y multiplicarla por los días del mes correspondiente), la superficie de las placas (A) y el ángulo de incidencia (φ) se puede determinar la energía captada por los paneles fotovoltaicos:

$$E_{captada} = I \cdot A \cdot \cos(90 - \varphi) \quad (6.12)$$

A esta energía hay que aplicarle las eficiencias de los paneles solares como del inversor:

$$E_{captada \text{ real}} = E_{captada} \cdot \eta_{panel} \cdot \eta_{inversor} \quad (6.13)$$

Los resultados mensuales y anuales de la generación fotovoltaica de la instalación se muestran a continuación:

Mes	Irradiación ($\frac{kWh}{m^2 \cdot mes}$)	Área (m^2)	$\cos(90 - \varphi)$	η_{panel}	$\eta_{inversor}$	Energía ($\frac{kWh}{mes}$)
Enero	67,17	7,78	0,15	0,17	0,93	12,40
Febrero	87,89	7,78	0,28	0,17	0,93	30,30
Marzo	134,33	7,78	0,46	0,17	0,93	76,23
Abril	170,83	7,78	0,63	0,17	0,93	133,10
Mayo	200,64	7,78	0,75	0,17	0,93	185,32
Junio	213,33	7,78	0,80	0,17	0,93	209,96
Julio	227,33	7,78	0,78	0,17	0,93	219,00
Agosto	189,44	7,78	0,70	0,17	0,93	162,78
Septiembre	143,33	7,78	0,55	0,17	0,93	96,82
Octubre	103,33	7,78	0,37	0,17	0,93	46,40
Noviembre	69,17	7,78	0,20	0,17	0,93	17,29
Diciembre	59,42	7,78	0,12	0,17	0,93	8,63
TOTAL						1198,23

Tabla 6.16. Energía total captada por los paneles fotovoltaicos (elaboración propia).

Con el objetivo de verificar el resultado anterior también se calculará la energía recogida por las placas solares siguiendo el procedimiento que parte de las horas pico solares [10], las cuales representan las horas totales de máxima radiación diaria ($W = 1000 \frac{W}{m^2}$). Por ello el primer paso es convertir a unidades kWh la irradiación diaria media obtenida mediante el programa CHEQ4 y al dividirla entre la radiación máxima diaria se obtienen las horas pico solares (PSH) :

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación ($\frac{MJ}{m^2 \cdot día}$)	7,8	11,3	15,6	20,5	23,3	25,6	26,4	22,0	17,2	12,0	8,3	6,9
Irradiación ($\frac{kWh}{m^2 \cdot día}$)	2,17	3,14	4,33	5,69	6,47	7,11	7,33	6,11	4,78	3,33	2,31	1,92
Radiación ($\frac{kW}{m^2}$)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PSH	2,17	3,14	4,33	5,69	6,47	7,11	7,33	6,11	4,78	3,33	2,31	1,92

Tabla 6.17. Horas pico solares para las placas fotovoltaicas (elaboración propia).

A continuación las horas pico solares se multiplicarán por la potencia de las placas fotovoltaicas así como también por el número de unidades de éstas que hay en la cubierta, teniendo en cuenta el ángulo de incidencia como en el caso anterior. A esta energía hay que aplicarle la eficiencia del inversor (ya que la eficiencia de las placas viene intrínseca en el concepto de las horas pico solar, suponiendo que éstas proporcionan el pico de potencia durante las horas de máxima radiación) y dado que los resultados serán diarios habrá que multiplicarla finalmente por los días mensuales correspondientes.

Para mayor detalle los resultados mensuales y anuales de la generación fotovoltaica de la instalación mediante el procedimiento que parte de las horas pico solares se muestran a continuación:

Mes	PSH	Potencia (kW)	Nº paneles	$\cos(90 - \varphi)$	$\eta_{inversor}$	Días mes	Energía $\left(\frac{kWh}{mes}\right)$
Ene	2,17	0,33	4,00	0,15	0,93	31	12,38
Feb	3,14	0,33	4,00	0,28	0,93	28	30,25
Mar	4,33	0,33	4,00	0,46	0,93	31	76,11
Abr	5,69	0,33	4,00	0,63	0,93	30	132,88
May	6,47	0,33	4,00	0,75	0,93	31	185,03
Jun	7,11	0,33	4,00	0,80	0,93	30	209,62
Jul	7,33	0,33	4,00	0,78	0,93	31	218,64
Ago	6,11	0,33	4,00	0,70	0,93	31	162,52
Sep	4,78	0,33	4,00	0,55	0,93	30	96,66
Oct	3,33	0,33	4,00	0,37	0,93	31	46,33
Nov	2,31	0,33	4,00	0,20	0,93	30	17,27
Dic	1,92	0,33	4,00	0,12	0,93	31	8,61
TOTAL							1196,29

Tabla 6.18. Energía total captada por los paneles fotovoltaicos mediante las PSH (elaboración propia).

Mediante dicho procedimiento se obtiene total de energía captada anual de 1196,29 kWh, lo que supone únicamente una variación del 0,17 % respecto al método anterior, demostrando de este modo la fiabilidad de los resultados.

Esta mejora de generación de generación fotovoltaica provoca un efecto inmediato sobre la verificación HE0, no sólo cumpliendo los requisitos mínimos sino que además supone una reducción considerable tal como se puede observar en la siguiente imagen:

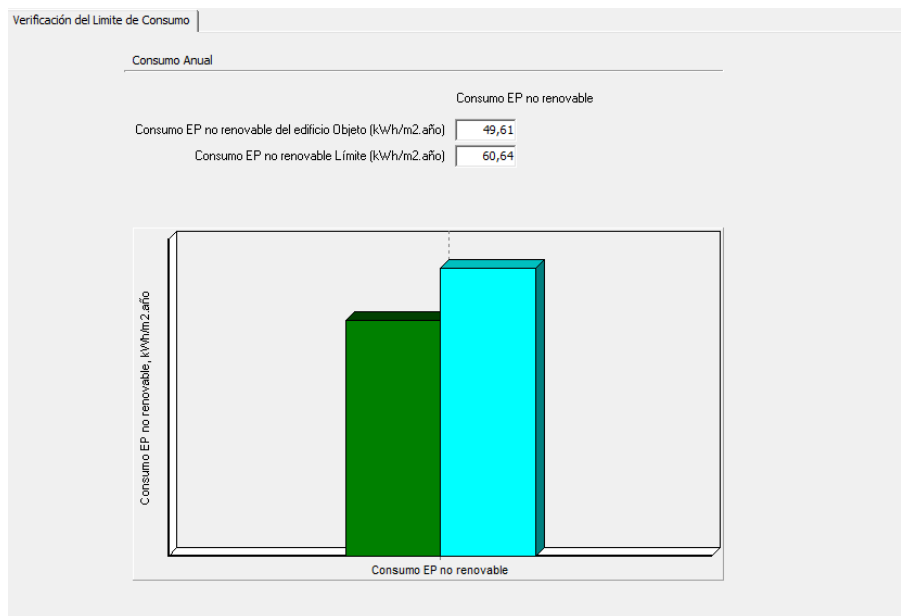


Figura 6.9. Verificación del HE0 con el sistema fotovoltaico (HULC).

Lo que supone una reducción del consumo de energía primaria no renovable respecto a la aplicación de las dos mejoras anteriores de 25,07%:

$$\text{Reducción EP no renov. (\%)} = \left(\frac{49,61 - 66,21 \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}} \right)}{66,21 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}}} \right) \cdot 100 = -25,07 \% \quad (6.14)$$

Y una reducción de energía primaria no renovable total igual a 44,5%:

$$\text{Reducción EP no renov. (\%)} = \left(\frac{49,61 - 89,44 \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}} \right)}{89,44 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{año}}} \right) \cdot 100 = -44,5 \% \quad (6.15)$$

Donde el consumo de energía final anual que percibirá el propietario en sus facturas será de 3579,47 kWh/año, lo que supone una reducción total del consumo que corresponde lógicamente, al mismo valor que la reducción de energía primaria no renovable:

$$Red. de consumo (\%) = \left(\frac{3579,47 - 6453,7 \left(\frac{kWh}{año} \right)}{6453,7 \frac{kWh}{año}} \right) \cdot 100 = -44,5\% \quad (6.16)$$

Esta reducción en el consumo de energía primaria no renovable se traduce también en una reducción de las emisiones de CO_2 y, por lo tanto, una mejora en el certificado energético llegando a un obtener una calificación de A, donde las emisiones se sitúan por debajo de los 9 kilogramos de dióxido de carbono anual por metro cuadrado, exactamente con un valor de 8,4, presentando unas emisiones totales de 1186,05 kg de CO_2 anuales.

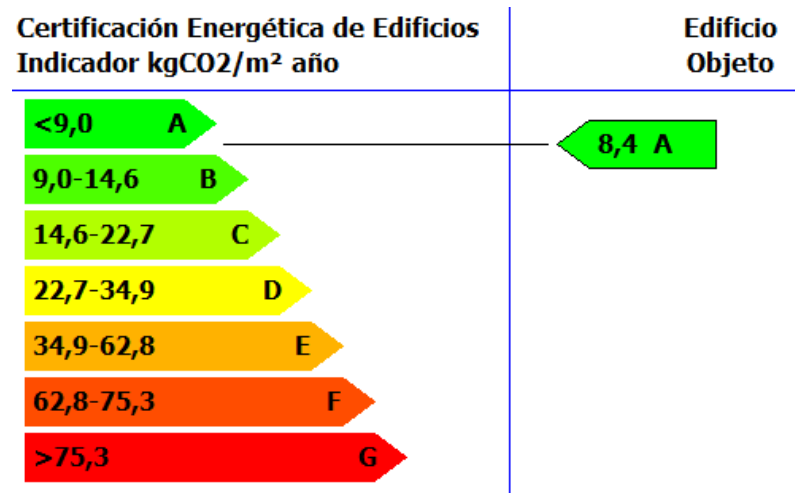


Figura 6.10. Certificación energética final tras la implantación de mejoras (HULC).

6.4. Conclusiones e impacto ambiental de las mejoras

A lo largo del estudio se analizan 3 mejoras con el fin de reducir el consumo energético de la vivienda: un sistema térmico solar (que supone una mejora del 25,97% respecto al consumo eléctrico no renovable), un pequeño dimensionamiento de la difusión de los sistemas de climatización para optimizar la simulación del COP y EER de los equipos presentes y la instalación de un sistema fotovoltaico que reduce un 25,07% adicional el consumo primario no renovable sobre la mejora solar térmica anterior. Finalmente desde una perspectiva global tanto el consumo final como el primario no renovable se ven reducidos en un 44,5%.

Esto se traduce finalmente en una certificación energética con una calificación de A, donde las emisiones se sitúan con un valor de 8,4 kg de CO_2 anuales por metro cuadrado, presentando unas emisiones totales de 1186,05 kg de CO_2 al año. Los datos de mejora en las emisiones de dióxido de carbono pueden visualizarse en el siguiente gráfico:

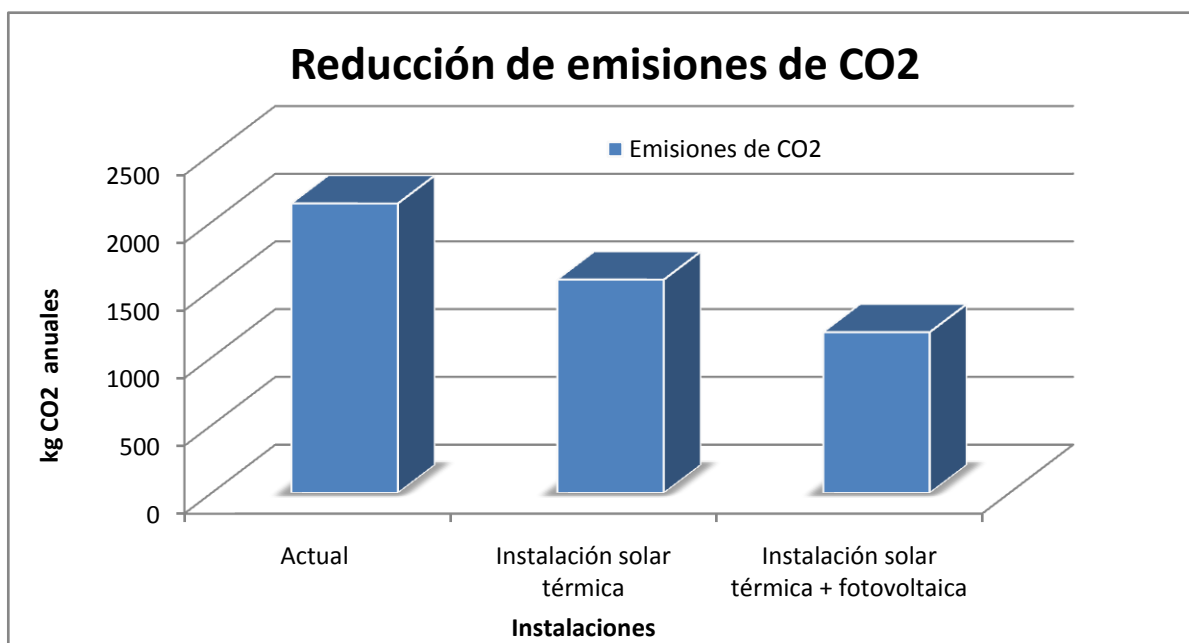


Gráfico 6.8. Reducción de emisiones de CO2 totales (elaboración propia).

La implantación de las instalaciones no solo supone una reducción de prácticamente el 50% en las emisiones de CO_2 de la vivienda sino que además mediante dichas instalaciones la vivienda cumple con el límite de consumo energético primario no renovable (HE0), siendo una vivienda eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Es evidente que, al reducirse el consumo energético tal y como se indicaba anteriormente, además de las emisiones de CO_2 también disminuyen la de otros contaminantes como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre o partículas sólidas que se producen durante la combustión de combustibles fósiles con el fin de generar energía eléctrica. Durante 2018 la demanda a nivel nacional fue de 254,1 TWh de energía eléctrica, de los cuales un 40 % fue producida en instalaciones renovables, un 24,1% en instalaciones nucleares y el resto en instalaciones térmicas [11].

Con el objetivo de minimizar las emisiones en el reciclaje de los componentes al acabar su vida útil se aconseja recurrir a un entidad administradora medioambiental como Recyclia, especializada en la gestión de los paneles solares en España desde el año 2013 y que permiten reciclar hasta un 88% de los captadores, desglosándolo en diferentes materiales como los afines al silicio, vidrio o metálicos. Para el reciclaje del resto de componentes como pueden ser las baterías de la instalación fotovoltaica se recurrirá a la Agencia de Residuos de Cataluña, la cual proporciona la suficiente información de vías de gestión como para minimizar al máximo posible el impacto ambiental, incluyendo transportistas especializados y gestores de residuos entre otros.

7. Viabilidad económica de las mejoras implantadas

En este apartado se demostrará si es económicamente viable invertir en las mejoras estudiadas a lo largo del documento, renunciando de este modo a unas cantidades económicas inmediatas para finalmente obtener unos beneficios en el futuro. Para ello se evaluará la liquidación mediante el periodo de retorno (PayBack) y la rentabilidad mediante el VAN y el TIR.

Se tendrá en cuenta las ayudas de financiamiento que proporciona el Instituto Catalán de Energía de la Generalitat de Cataluña, el cual subvenciona hasta el 60% todos aquellos sistemas de almacenamiento de energía eléctrica mediante baterías asociadas a unas instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Dado que esta subvención no considera el precio de las placas fotovoltaicas se aplica una subvención del 40%.

El primer paso es calcular la inversión teniendo en cuenta la compra, mano de obra (MO), mantenimiento y financiación de todos los equipos y su instalación para el sistema solar térmico y fotovoltaico, (considerando que el dimensionamiento de la difusión de los equipos de climatización es la correcta):

Mejora	Componente	Precio de la unidad	MO	Financiación (%)	Mantenimiento	Inversión
Instalación solar térmica	BAXI STS 150	1831 €	300€	-	120€	2251€
	JUNKERS ED6	302,72€	200€	-	50€	552,72
Instalación fotovoltaica	Equipo solar 3000W 24V	1998,88€	840€	40% (ICAEN)	120€	1823,34€
TOTAL						4626,61€

Tabla 7.1. Inversión total de las mejoras a implementar (elaboración propia).

Seguidamente se determinan los beneficios obtenidos a partir de la reducción del consumo energético y la tarifa eléctrica (0,146 €/kWh) de un valor medio respecto al curso de los años y considerado constante:

$$\text{Beneficios} \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right) = \left(6453,7 - 3579,47 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) \right) \cdot 0,146 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 419,64 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (7.1)$$

La suma de flujos anuales nos indica un periodo de retorno de 11 años tal y como se puede observar dividiendo la inversión entre los beneficios anuales:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{4626,61\text{€}}{419,64 \frac{\text{€}}{\text{año}}} = 11,02 \approx 11 \text{ años} \quad (7.2)$$

Por ello todavía quedarían 14 años amortizables únicamente de beneficios alcanzando una cifra total de 5864,39€ de ahorro económico:

$$\text{Beneficios totales} = \left(25 \text{ años} \cdot 419,64 \frac{\text{€}}{\text{año}} \right) - 4626,61 \text{ €} = 5864,39 \text{ €} \quad (7.3)$$

Dado que no se puede comparar una misma cantidad económica a día de hoy que dentro de unos años por la variación de la calidad de vida se utilizarán valores de rentabilidad VAN y TIR con una tasa de descuento del 5% (la cual revaloriza el dinero a través de los años) a lo largo de 25 años de vida útil.

Donde:

- I_o = inversión inicial (€).
- F_t = beneficios anuales (€).
- k = tasa de descuento (%).

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^{25} \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (7.4)$$

$$VAN = -4626,61 + \sum_{n=1}^{25} \frac{419,64}{(1+0,05)^t} = 1287,77 \text{ €} \quad (7.5)$$

Observamos que el VAN es positivo, lo cual indica que obtendremos más beneficios que si el dinero de la inversión se hubiera puesto a plazo fijo, aunque dado el largo plazo de estudio tiene un valor bastante bajo. Si igualamos el VAN a cero obtendremos el valor TIR, que es el tipo de interés con el que el VAN se anula.

$$0 = -4626,61 + \sum_{n=1}^{25} \frac{419,64}{(1+TIR)^t} \rightarrow TIR = 8\% \quad (7.6)$$

El TIR anterior mantiene un valor muy bajo para la vida útil de las placas, aún así sigue siendo positivo y por lo tanto rentable a muy largo plazo. Debido también a que el periodo de retorno inferior a la mitad de la vida útil de las instalaciones se puede determinar que la implementación de los sistemas descritos son económicamente viables a largo plazo.

8. Evaluación del impacto ambiental

El impacto ambiental asociado al estudio realizado sobre la viabilidad técnica y económica para mejorar eficientemente la vivienda reside únicamente en su naturaleza teórica, siendo la única fuente de impacto el consumo eléctrico de los equipos involucrados, en este caso el ordenador y el monitor. Sin embargo el objetivo de este documento sigue siendo el de reducir el impacto ambiental de una vivienda unifamiliar que puede visualizarse en el capítulo "6.4. Conclusiones e impacto ambiental de las mejoras".

HP pone a disposición de sus usuarios una herramienta online para poder calcular las emisiones de CO_2 de todos sus productos basándose en los parámetros relacionados con los modelos empleados, su uso semanal, frecuencia de apagado, etc. Se usará la herramienta únicamente para el cálculo de kWh y posteriormente se aplicará el factor de emisiones proporcionado en la página de la Generalitat de Catalunya $\left(0,392 \frac{kg\ CO_2}{kWh}\right)$. Siguiendo los parámetros anteriores y para las 380 horas (distribuidas en un año natural para la aplicación) que se han invertido en la realización del presente documento obtenemos un consumo de 347,7 kWh totales.

Figura 8.1. Cálculo del consumo eléctrico del equipo utilizado para el estudio (www.hp.com).

Traduciéndose finalmente en unas emisiones de 136,3 kg de CO_2 :

$$Emisiones\ de\ CO_2 = 347,7\ kWh \cdot 0,392 \frac{kg\ CO_2}{kWh} = 136,3\ kg\ CO_2 \quad (8.1)$$

9. Presupuesto

En el siguiente presupuesto se recogen todos los gastos económicos asociados a la elaboración del presente documento.

Debido a la naturaleza del estudio se tendrán en cuenta el sueldo del ingeniero, precio de adquisición y consumo eléctrico de los equipos utilizados y licencia (si las hubiera) de los programas utilizados. Estos costes se clasificarán en gastos o inversiones, siendo aplicado la totalidad del coste a los gastos y la parte proporcional a la vida útil en el caso de las inversiones:

Los gastos fijos a lo largo del estudio son los siguientes:

- Sueldo del ingeniero: se considera un sueldo de ingeniero junior de 23000 euros anuales, lo que equivale a 11,98 euros la hora. El coste asociado a las 380 horas de trabajo seria de 4552,4 euros.
- Consumo eléctrico: partiendo de un consumo 347,7 kWh totales (extraídos del apartado de impacto ambiental del estudio) se calcula un consumo eléctrico equivalente a 50,76€.

Los inversiones aplicadas al estudio son las siguiente:

- Equipo utilizado: inversión asociada a la compra y amortiguación del ordenador y monitor con los que se ha llevado a cabo el estudio, con un precio de compra de 1040 euros y una vida útil de 6 años.
- Licencia de programas: asociada a HULC y OpenStudio. Dado que dichos programas son gratuitos no habrá coste alguno asociado a esta inversión.

El presupuesto final siguiendo lo expuesto anteriormente es el siguiente:

Concepto	Gasto/Inversión	Coste	Vida útil	Utilización	Coste final
Sueldo					
Sueldo del ingeniero	Gasto	-	-	-	4552,4€
Equipo					
Ordenador	Inversión	920€	6 años	6 meses	76,7€
Monitor	Inversión	120€	6 años	6 meses	10€
Consumo eléctrico					
Consumo eléctrico total	Gasto	-	-	-	50,76€
Licencias					
HULC	Inversión	0€	-	6 meses	0€
OpenStudio	Inversión	0€	-	6 meses	0€
TOTAL					4689,86 €

Tabla 9.1. Desglose del presupuesto (elaboración propia).

10. Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que la mejora en la eficiencia energética de la vivienda de estudio es viable tanto desde el punto de vista técnico como económico. Partiendo de una certificación energética con calificación de C con unas emisiones anuales iguales a 15,2 kilogramos de CO_2 por metro cuadrado y sin el cumplimiento del HE0 se consigue obtener la máxima calificación energética A, verificando correctamente el límite de consumo primario no renovable con emisiones anuales equivalentes a 8,4 kilogramos de CO_2 por metro cuadrado. Esto se traduce en una reducción global del 44,5% tanto en emisiones como en consumo de energía final que percibirá el propietario en sus facturas, pasando esta última de los 6453,7 kWh anuales hasta los 3579,47 kWh .

Esta reducción de consumo energético se consigue mediante la implementación progresiva de 3 mejoras diferentes hasta alcanzar la máxima calificación, incidiendo en los sistemas más perjudiciales de la vivienda (el sistema ACS y la climatización en cuanto a calefacción) ; una instalación solar térmica prefabricada para la generación de ACS en la cubierta plana de la segunda planta (seleccionada entre otros modelos solares térmicos por sus menores pérdidas), el dimensionamiento de la difusión de las bombas de calor según la demanda térmica (con la finalidad de optimizar la simulación del COP y EER de los equipos) y una instalación fotovoltaica situada en la cubierta inclinada de la vivienda, con suficiente espacio para su instalación tanto en cubierta para las placas como en la segunda planta para los sistemas auxiliares.

Mediante el estudio de viabilidad económica se determina que para la inversión total de 4626,61 € en la que se incluyen todos los nuevos equipos descritos anteriormente se obtiene un periodo de retorno de 11 años. Por ello quedarían aproximadamente 14 años restantes de vida útil únicamente con beneficios (suponiendo una vida útil de las instalaciones térmica solar y fotovoltaica de 25 años). Estos datos acompañados de un VAN y TIR positivos determinan que es una opción rentable a largo plazo.

Como recomendación final se añadiría la opción de optimizar más el precio de los equipos escogidos, apostando por modelos más económicos de prestaciones similares. Con ello se reduciría considerablemente la inversión y el periodo de retorno, así como un aumento del VAN y TIR, aumentando los beneficios económicos para el propietario de la vivienda y haciendo más rentable el proyecto.

11. Bibliografía

Para la realización del presente documento se han consultado las siguientes fuentes de información, todas ellas citadas a lo largo de la memoria y que se listan a continuación:

- [1] IDAE. Guía técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos. Madrid: 2012. p. 5 -18 (Capítulo 1: Exigencias de bienestar e higiene).
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf, 25 de septiembre de 2018]
- [2] CTE (Código Técnico de la Edificación). Documento Básico HS Salubridad. Junio 2017. Sección HS3: Calidad del aire interior.
[<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>, 5 de octubre de 2018]
- [3] CARRIER. AIRE ACONDICIONADO. Manual de aire acondicionado. Barcelona: Marcombo, 1974. p 1-10 (Capítulo 1. Análisis del local y estimación de la carga térmica).
- [4] ICAEN. ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR EN CATALUÑA. Edición 2000.
[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxiu/monografic12.pdf, 18 de octubre de 2018].
- [5] AEMET. Valores climatológicos normales, Barcelona aeropuerto.
[<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=0076&k=cat>, 28 de octubre de 2018].
- [6] CÓDIGO TÉCNICO. HULC: Manual del usuario.
[<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/lider-calener/ManualDeUsuarioHULC-20151221.pdf>, 2 de noviembre de 2018]
- [7] EFINOVATIC. SG SAVE: Manual de usuario.
[http://www.efinovatic.es/descargas/SaintGobain/Manual_SGSAVE.pdf, 18 de noviembre de 2018]
- [8] IDAE. CHEQ4: Manual de usuario.
[<http://cheq4.idae.es/userfiles/file/Manual%20de%20usuario%20CHEQ4.pdf>, 5 de diciembre de 2018]

[9] IDAE. Consumos del sector residencial en España.

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf, 20 de octubre de 2018]

[10] ICAEN. Energía solar fotovoltaica, cuaderno práctico 4.

[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/04_energia_solar_fotovoltaica.pdf, 14 de diciembre de 2018]

[11] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. El sistema eléctrico español, previsión de cierre de 2018.[https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/Red-Electrica-Infografia-Sector-Electrico-Espa%C3%B1ol.pdf, 5 de enero de 2019]